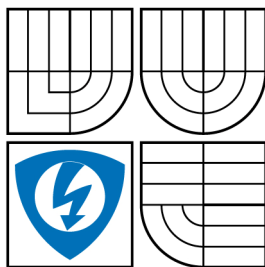


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELEKOMMUNICATIONS**

METODY MNOHONÁSOBNÉHO PŘÍSTUPU PRO POZEMNÍ RADIOVÉ SÍTĚ

METHODS OF MULTIPLE ACCESS FOR TERRESTRIAL RADIO NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JOSEF ŽÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. DUŠAN HAVELKA

BRNO 2008

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Josef Žák
Bytem: U stadionu 475, 595 01, Velká Bíteš
Narozen/a (datum a místo): 10.6.1984, Mostiště

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):
- ☐ disertační práce
 - ☒ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Metody mnohonásobného přístupu pro pozemní radiové sítě
Vedoucí/ školitel VŠKP Ing.Duššan Havelka
Ústav: Ústav telekomunikací
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli :

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ANOTACE

Obsah této práce je zaměřena na metody mnohonásobného přístupu pro pozemní rádiové sítě. Tyto metody jsou využívané systémy druhé a třetí generace mobilních sítí. Určení základních charakteristik těchto metod je důležitou součástí pro zjištění příslušných specifik. Důvodem je to, že bezdrátovou mobilní komunikace lze rozdělit do tří generací. První je NMT, s analogovou frekvenční modulací, která se však již nevyužívá, neboť má značné nevýhody.

Rozbor druhé generace mobilních systémů GSM vede k určení mnoha výhod tohoto systému, jenž je založen na metodách FDMA, TDMA, CDMA. Popis těchto metod je zaměřen zejména na jejich rozprostírací vlastnosti.

U třetí generace mobilních systémů UMTS je charakterizována použitá širokopásmová technologie WCDMA, využívající dvou duplexních metod (FDD, TDD). Obě metody poskytují vyšší efektivitu využití frekvenčního spektra. Všechny teoretické postupy jsou ověřeny v závěrečné části této práce. Po důkladném rozboru těchto metod je možné provést návrh a realizaci. V tomto případě byl využit program Matlab–Simulink pro simulaci duplexní metodu WCDMA- FDD. Hodnocení této technologie poskytuje srovnání s druhou generací GSM.

Klíčová slova: rozprostírání, vlastnost, WCDMA, zpracování, simulace

ABSTRACT

The content of this work is focused on the methods of multiple access for terrestrial radio network. These methods are exploited by the systems second and third generation of mobile networks. Specification the basic characteristics these methods is responsible part for inquest the correspondent specificities. Reason is that, that the wireless mobile communication it is possible split by three generation. First is NMT, with analog frequency modulation, which dont make use already, because has considerable disadvantages.

Analysis second generation mobile systems GSM leads to determination to many advantages hereof system, who be based on methods FDMA, TDMA, CDMA. Description these methods is specialized on their spreading properties.

Third generation of mobile systems UMTS is characterized wideband technology WCDMA, making use two duplex methods (FDD, TDD). Both methods provide higher efficiency of recovery frequency spectrum . All the theoretical approaches are examined in the last part of this work.it's then possible after complete analysis these methods, make a design and a realization. In this event was used the computer programme Matlab–Simulink for simulation of duplex method WCDMA-FDD. Evaluation of this technology provides confrontation with second generation GSM .

Keywords: spreading, characteristic, WCDMA, processing, simulation

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma " Metody mnohonásobného přístupu pro pozemní radiové sítě " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení §152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Dušanu Havelkovi, za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne

.....
(podpis autora)

Seznam zkratek

ATM (<i>Asynchronous Transfer Mode</i>)	- asynchronní přenosový režim
AWGN (<i>Additive White Gaussian Noise</i>)	- aditivní bílý šum
BCCH (<i>Broadcast Control Channel</i>)	- řídicí kanál logické vrstvy
BER (<i>Bit Error Ratio</i>)	- koeficient bitové chybovosti
BER (<i>Block Error Ratio</i>)	- koeficient blokové chybovosti
BPSK (<i>Binary Phase Shift Keying</i>)	- binární fázové kódování
BS (<i>Base Station</i>)	- základní stanice
CCCH (<i>Common Control Channel</i>)	- řídicí kanál logické vrstvy
CDMA (<i>Code Division Multiple Access</i>)	- vícenásobný přístup s kódovým dělením
CN (<i>Core Network</i>)	- základní síť
CPCH (<i>Common Packet Channel</i>)	- společný transportní kanál
CRC (<i>Cyclic Redundancy Check</i>)	- kontrolní součet
CS (<i>Circuit Switching</i>)	- spojově přepínané
CTCH (<i>Common Traffic Channel</i>)	- provozní kanál logické vrstvy
DCCH (<i>Dedicated Control Channel</i>)	- řídicí kanál logické vrstvy
DECT (<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>)	- zdokonalené digitální bezšňůrové telekomunikace
DS (<i>Direct Sequence</i>)	- přímá posloupnost
DTCH (<i>Dedicated Traffic Channel</i>)	- provozní kanál logické vrstvy
ETSI (<i>European Telecommunications Standards Institute</i>)	- evropský telekomunikační standardizační institut
FACH (<i>Forward Access Channel</i>)	- společný transportní kanál
FDD (<i>Frequency Division Duplex</i>)	- frekvenční duplex
FH-CDMA (<i>Frequency Hopping-CDMA</i>)	- rozprostírání spektra s přeskakováním kmitočtů
FSK (<i>Frequency Shift Keying</i>)	- kmitočtová modulace, klíčování kmitočtovým zdvihem
DPDCH (<i>Dedicated Physical Data Channel</i>)	- vyhrazený datový fyzický kanál
DPCCH (<i>Dedicated Physical Control Channel</i>)	- vyhrazený řídicí fyzický kanál
GPRS (<i>General Packet Radio Service</i>)	- rádiová paketová služba
GSM (<i>Global System for Mobile communications</i>)	- globální systém pro mobilní komunikaci
HSCSD (<i>High Speed Circuit Switched Data</i>)	- vysokorychlostní okruhově spínaná data
IMT - 2000 (<i>International Mobile Telecommunications for the year 2000</i>)	- mezinárodní mobilní telekomunikace pro rok 2000
ITU (<i>International Telecommunication Union</i>)	- mezinárodní telekomunikační unie
MAC (<i>Medium Access Control</i>)	- podvrstva linkové vrstvy
MAI (<i>Multiple Access Interference</i>)	- interference mnohonásobného přístupu
MAP (<i>Multiple Access Protocol</i>)	- protokol neboli metoda vícenásobného přístupu
MS (<i>Mobile Station</i>)	- mobilní stanice
MSC (<i>Mobile Switching Center</i>)	- mobilní přepínací centrum
MUD (<i>Multiuser Detection</i>)	- multiuživatelská detekce

NMT (<i>Nordic Mobile Telephony</i>)	- standard pro mobilní telefony 1. generace
OVSF (<i>Orthogonal Variable Spreading Factor</i>)	- ortogonální (kódy) s proměnlivým činitelem rozptřeni
PAM (<i>Pulse Amplitude Modulation</i>)	- pulzně amplitudová modulace
PCCH (<i>Paging Control Channel</i>)	- logický kanál, obsahuje paginové informace
PCM (<i>Pulse-Code Modulation</i>)	- pulzně kódová modulace
PG (<i>Processing Gain</i>)	- procesní zisk
PSK (<i>Phase Shift Keying</i>)	- fázová modulace
QPSK (<i>Quarternary Phase Shift Keying</i>)	- kvadrurně fázové kódování
RACH (<i>Random Access Channel</i>)	- společný transportní kanál
RNC (<i>Radio Network Controller</i>)	- řídicí jednotka rádiové sítě
SF (<i>Spreading Factor</i>)	- rozprostírací faktor
SIM (<i>Subscriber Identity Module</i>)	- účastnická identifikační karta
SNR (<i>Signal to Noise Ratio</i>)	- odstup signál - šum
SS (<i>Spread Spectrum</i>)	- rozptřené spektrum
TA (<i>Timing Advance</i>)	- čas šíření signálu mezi mobilním zařízením a sítí
TD-CDMA (<i>Time Division CDMA</i>)	- CDMA s časovým rozdělením
TDD (<i>Time Division Duplex</i>)	- časový duplex
TH-CDMA (<i>Time Hopping-CDMA</i>)	- rozprostírání přeskokováním časových slotů
TTI (<i>Transmission Time Interval</i>)	- doba přenosu transportního bloku
UE (<i>User Equipment</i>)	- uživatelské zařízení
UTRA (<i>UMTS Terrestrial Radio Access</i>)	- pozemní rádiový přístup do UMTS
WCDMA (<i>Wideband CDMA</i>)	- širokopásmový vícenásobný přístup s kódovým dělením

Obsah

	str.
1 Úvod.....	13
2 Metody mnohonásobného přístupu druhé generace	14
2.1 FDMA.....	14
2.2 TDMA.....	17
2.3 CDMA.....	18
2.3.1 Kódový multiplex CDM.....	19
2.4 Systémy s rozprostřeným spektrem SS.....	20
2.4.1 Systém s přímým rozprostřením DS-SS.....	21
2.4.2 Vlastnosti systému DS-SS (2.varianta zapojení).....	23
2.4.3 Využití kapacity kanálu v soustavách založených na DS-SS.....	26
2.4.4 Rozprostírací systém FH-CDMA.....	28
2.4.5 Rozprostírací systém TH-CDMA.....	28
2.5 Hodnocení systému SS (metoda CDMA).....	29
3 UMTS.....	30
3.1 Struktura UMTS.....	31
3.2 WCDMA	32
3.2.1 Metoda UTRA FDD.....	33
3.2.2 Realizace mnohonásobného přístupu DS-WCDMA.....	35
3.2.3 Metoda UTRA TDD.....	36
3.3 Kódy systému UMTS.....	38
3.3.1 Skramblovací kódy.....	38
3.3.2 Walshovy funkce.....	40
3.3.3 Kanálové kódy.....	41
3.3.4 Rozprostírací kódy.....	41
3.4 Hodnocení systému UMTS (rozprostírací posloupnosti).....	43
4 Kanály systému UMTS	44
4.1 Logické kanály.....	44
4.2 Transportní kanály.....	45
5 WCDMA fyzická vrstva	46
5.1 Fyzické kanály... ..	47
5.2 Funkce fyzické vrstvy (v rámci FDD).....	47
5.2.1 Kanálové kódování	48

5.2.2	První prokládání ...	49
5.2.3	Přizpůsobení bitové rychlosti.....	49
5.2.4	Multiplexování transportních kanálů ...	50
5.2.5	Mapování transportních kanálů.....	50
5.2.6	Rozprostírání modulace signálu (uplink).....	50
5.2.7	Rozprostírání modulace signálu (downlink).....	51
5.3	Vícenásobný Rayleighuv únik	51
6	Návrh WCDMA FDD(downlink)	52
6.1	Nastavení fyzického modelu	53
6.2	Subsystémy fyzického kanálu..	54
6.2.1	Podsystém Tx-kanálového kódování..	54
6.2.2	Podsystém Tx-mapování.....	55
6.2.3	Podsystém Tx-antény.....	56
6.2.4	Podsystém modelu kanálu.....	56
6.2.5	Podsystém Rx-antény..	57
6.2.6	Podsystémy Rx-demapování a de kódování	57
7	Výsledky simulace.....	58
7.1	Časové průběhy signálu.....	58
7.2	Spektra signálu.....	59
7.3	Bitová chybovost BER.....	63
8	Závěr.....	64
	Seznam literatury.....	66
	Seznam obrázků.....	67
	Seznam tabulek.....	69
	Příloha	

1.Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na metody mnohonásobného přístupu pro pozemní rádiové sítě. Jak název napovídá, jednotlivé systémy druhé a třetí generace mobilních sítí se liší použitými metodami, proto zde máme možnost uvést jejich charakteristiky s podrobným rozbořem, nutným pro následný návrh těchto metod.

Z hlediska vývoje bezdrátové mobilní komunikace na bázi celulárního systému však existují tři generace. První, označovaná jako NMT, byla započata na konci 70.let minulého století (u nás v roce 1991). Jedná se o analogovou frekvenční modulaci v kmitočtovém pásmu kolem 450 MHz . Byla využívána v rámci celo evropského měřítka, avšak v každém státě poněkud odlišně a tak zde byl problém se vzájemnou kooperativou.Tyto nevýhody byly důvodem, proč tato generace zde není již blíže specifikována.

Vývoj druhé generace se tak ubíral směrem k vývoji digitálního systému GSM (*Global System for Mobile Telecommunications*), standardizovaného pro celou Evropu. Řešení bylo zaměřeno i na velmi důležitý princip (mezinárodního) roamingu, tedy provozování jedné a téže mobilní stanice s jedním očíslováním ve všech státech, které tento systém přijmou. Dále pak i na identifikaci účastníka, založeného na vzniku SIM karty.V USA byl ale rozvoj poněkud odlišný, především zavedením v roce 1991 systému IS-54 (AMPS, později IS-136, IS-95). Tato druhá generace, jenž poskytuje několik přístupů ke sdíleným prostředkům (FDMA, TDMA, CDMA), je v této práci určena především podle oblasti rozprostíracích systémů s příslušnými parametry, dále z hlediska obvodové složitosti a v neposlední řadě i nároků na přenosový systém. Tyto základní vlastnosti druhé generace jsou charakterizovány v první části této práce, na níž navazuje novější systém .

Velmi rychlý vývoj telekomunikace 90. let po celém světě měl za následek úvahy o vzniku či zavedení systému třetí generace na základě universálního standardu označovaného jako UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). UMTS je charakterizován především prostřednictvím použité širokopásmové technologie WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*), jenž je rozdělena do dvou duplexních metod (FDD,TDD). U každé z nich jsou uvedeny skramblovací, rozprostírací či jiné kódy, neboť ty a jejich realizace určují vlastnosti obou metod. Hodnocení této technologie ve srovnání s druhou generací je cílem druhé části práce .

Závěr tvoří vlastní návrh a realizace simulace systému WCDMA na základě vlastností tohoto systému uvedených předešlých částech této práce. Jelikož způsob zpracování signálu vhodného

pro přenos v radiovém prostředí je v systému UMTS různý pro *uplink* a *downlink*, je simulace zaměřena na jeden z těchto směrů (*downlink*) v rámci fyzické vrstvy, využívající duplexní metodu FDD.

2. Metody mnohonásobného přístupu druhé generace

Jelikož v současné době musí být v rámci jedné buňky celulární sítě mobilních telekomunikačních systémů zajištěn ve stejném časovém intervalu navázání a provozování spojení mezi základnovou stanicí a větším počtem mobilních stanic, byl zaveden protokol neboli metoda vícenásobného přístupu MAP (*Multiple Access Protocol*). Určuje způsob sdílení přenosové kapacity (FDM, TDM), přístup ke sdíleným prostředkům (FDMA, TDMA, CDMA). Důvodem zavedení toho protokolu je velký počet účastníků, mezi kterými probíhá přenos informací, tedy vzájemná komunikace. Rozlišujeme tyto základní metody mnohonásobného přístupu:

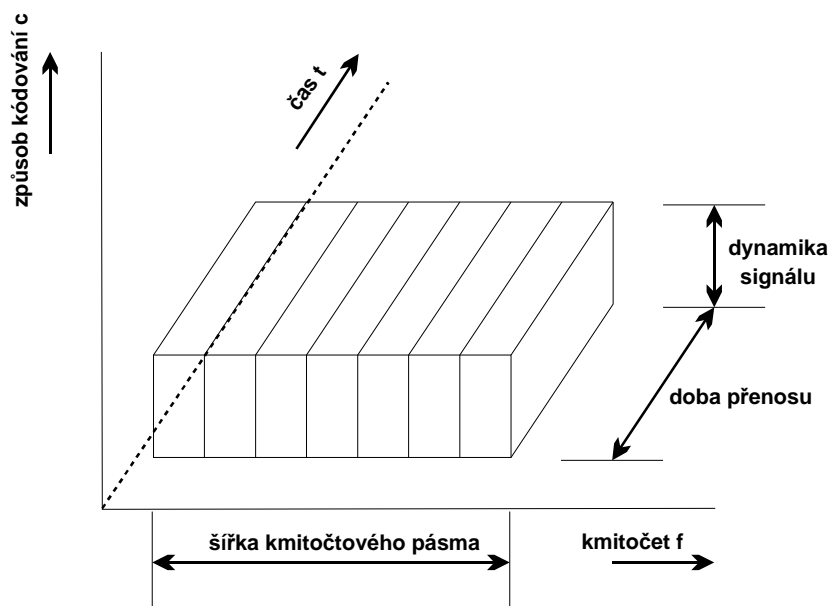
- **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*)-vícenásobný přístup s kmitočtovým dělením
- **TDMA** (*Time Division Multiple Access*)-vícenásobný přístup s časovým dělením
- **CDMA** (*Code Division Multiple Access*)-vícenásobný přístup s kódovým dělením

V praktických aplikacích jsou často uvedené metody kombinovány. Existuje například systém **FDMA/TDMA**, což je systém s frekvenčním a zároveň časovým dělením. Kmitočtové pásmo je nejprve rozděleno pomocí FDMA na radiové kanály a ty jsou následně děleny technikou TDMA na účastnické kanály (GSM). Tyto kombinované metody však vyžadují korekci přenosových charakteristik kanálů pomocí adaptivní ekvalizace.

2.1 FDMA

Metoda FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) je využívána převážně v analogových systémech. U této metody je dané kmitočtové pásmo rozděleno na subpásma, která jsou na určitou dobu přidělena jednotlivým účastníkům (viz. obr. 2.1). Tím je zajištěno, že účastníci komunikují na různých kmitočtech a tyto pásma nemůže ve stejnou dobu využít žádný jiný z nich. Tato metoda je vhodná pro přenos konstantního nebo pomalu alokovaného objemu dat. Naopak nevýhodou je zejména malá efektivita v době nevyrovnaného zatížení. To znamená malé využití přenosové kapacity kanálu, neboť tento kanál je trvale přidělen příslušnému účast-

níkovi, i když jej nevyužívá. Nesmíme opomenout i malou flexibilitu, která je zřejmá při rozšiřování počtu mobilních účastníků.



Obr.2.1: Mnohonásobný přístup FDMA

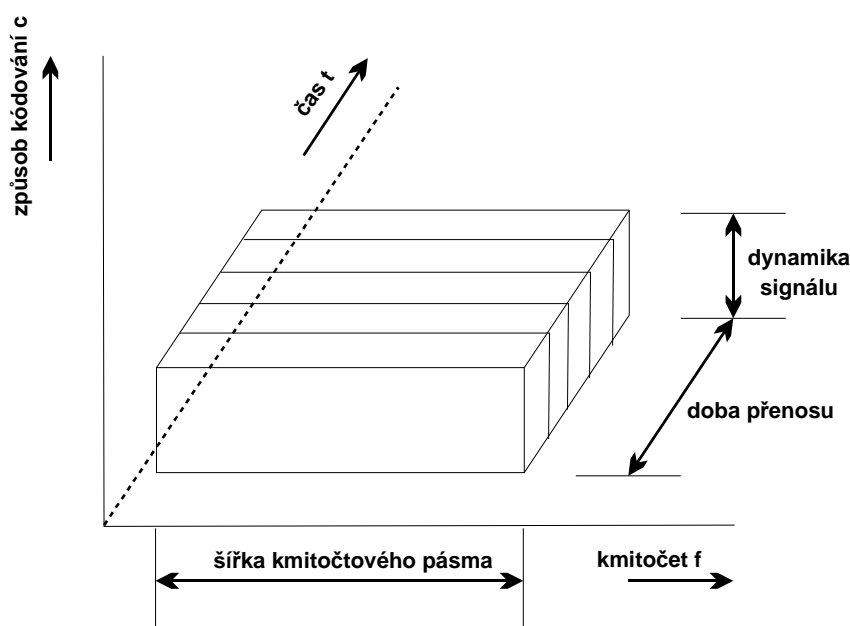
Obecně lze říct, že multiplexování je vratný proces sdružování signálu od více zdrojů do jednoho složené signálu, který je dále přenášen. FDM multiplexer se skládá z n nezávislých modulačních signálů, jejichž počet je ovlivněn množstvím kmitočtových subpásem. Za zmínku stojí, že modulátory mohou být s jedním postraním pásmem SSB nebo s dvěma postraními pásmy DSB, či jiné, která jsou méně citlivá na únik signálu. U SSB tedy dochází k úspoře šířky pásma a vysílacího výkonu při potlačení nosné. Abychom opět získali původní nezávislé signály je nutná demodulace na přijímací straně. Pro demodulaci signálů DSB je však nutná synchronizace.

2.2 TDMA

Tuto metodu si nejlépe objasníme na principu časového multiplexu, kdy je každému účastníkovi přidělen v určitém kanálu pouze krátký časový interval (*time slot*), který je předem přiřazen stanici (viz. obr.2.2). V tomto okamžiku může účastník volně vysílat a využívat všechny systémové prostředky. Tyto časové intervaly jsou součástí tzv. TDMA rámce, jež se cyklicky opakuje. Každý přenos je tedy nespojitý v čase, ale je ve stejně dlouhých, pravidelně se opaku- jících časových úsecích. Na vysílací straně musí být signál časově komprimován a k opačnému procesu dochází na přijímací straně, tedy ke zpětné expanzi. Je zde nutno zabezpečit složitější časovou synchronizaci, aby každá stanice přesně věděla, ve kterém

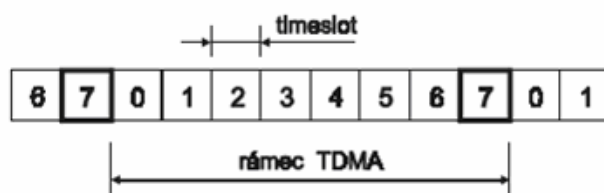
okamžiku má vysílat, neboť je možné přiřadit stanicí více než jeden časový interval v oblasti jednoho TDMA rámce.

TDMA je jednou z nejpoužívanějších metod přenosu, zajišťující velmi rychlou obsluhu a dynamickou alokaci objemu přenášených dat. Při náhlém navýšení toku dat je toto požadavkem pro statické multiplexování. Nevýhodou však je omezený dosah, způsobený různou dobou šíření rádiového signálu od různě vzdálených uživatelů (např. DECT s maximálním dosahem 7,5 km). Řešení spočívá v kompenzaci doby šíření signálu mezi základnovou stanicí a mobilním terminálem, u GSM je to parametrem TA (*Timing Advance*).



Obr.2.2: Mnohonásobný přístup TDMA

Existence této metody je úzce spjat s rozvojem digitální techniky a číslicových integrovaných obvodů. Využívá se jak v digitálních systémech pro přenos digitálního signálu tak i pro analogový signál, u kterých je však nutné provést převod na diskrétní vzorky některou z modulací PAM, PCM, či jiné, následované časovým prokládáním. Toto prokládání (*interleaving*) použité v některých multiplexerech má za následek zvýšení odolnosti proti shlukům chyb. Místo jednotlivých bitů (456 bitů) se prokládají celé skupiny bitů, o velikosti 57 bitů. Tyto skupiny jsou prokládány se 4 posledními skupinami z předešlé bitové sekvence a 4 prvními z následující sekvence. Vzniknou tak dvě sousední proložené skupiny o 57 bitech, tvořící tzv. burst. Tyto bursty jsou doplněny o okrajové a ochranné bity a také o tréninkovou sekvenci (26 bitů), která poskytuje funkci pro zpětnou filtraci. Výsledkem tréninkové sekvence je potlačení rušení zkreslující přenášený signál. Pokud uvažujeme skupinu osmi burstů mluvíme o TDMA rámci, kde každý z nich je umístěn v jednom časovém intervalu (*time slotu*), podle obr.2.3.

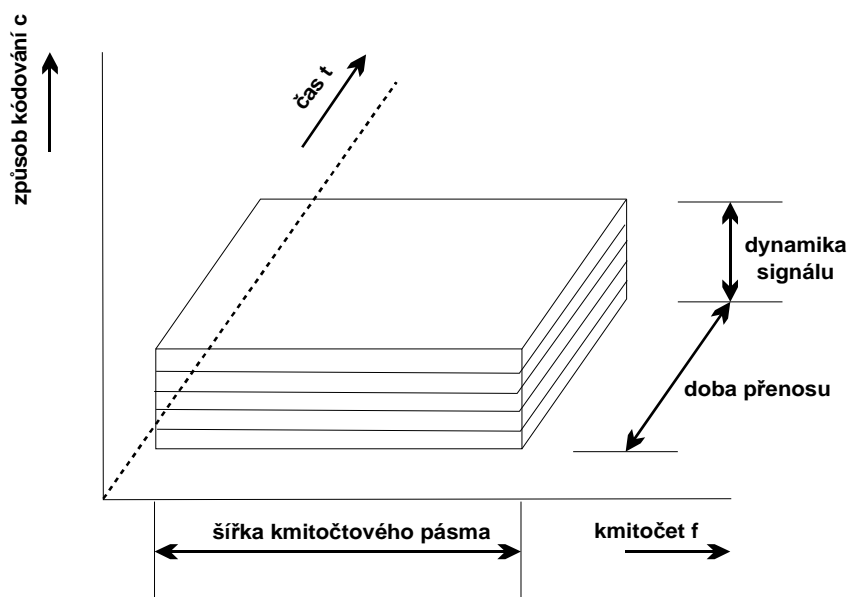


Obr.2.3:Struktura rámce TDMA

2.3 CDMA

Obecně lze CDMA (*Code Division Multiple Access*) charakterizovat jako systém umožňující přístup do kmitočtového pásma pro mnohonásobné uživatele. Tento systém se nesnaží zajistit každému účastníkovi zcela vlastní frekvenční kanály, nebo časové intervaly, ale poskytnou oba tyto prostory všem z nich (viz.obr.2.4). Tito jednotliví účastníci jsou rozlišeni modulovanou kódovou sekvencí(individuální pseudonáhodnou sekvencí PN), která se ve vysílači používá k rozprostření vysílaného signálu do širokopásmové podoby. Na vstup přijímače se může dostat kromě požadovaného signálu i řada signálů jiných, neboť kmitočtové pásmo je sdíleno nejen účastníci toho systému, ale i jiného systému pracujícího na odlišném principu. Oddělení požadovaného signálu ze skupiny přenášených signálů, se provede pomocí shodných filtrů na přijímací straně,neboli stejné pseudonáhodné sekvence, která byla využita na vysílací straně. Problém mnohacestného šíření se zde řeší aplikací techniky přijímačů RAKE, nebo multiuživatelskou detekcí MUD (*Multiuser Detection*), tím je zamezeno nutnosti použití náročné ekvalizace. Nevýhodou CDMA je složitá synchronizace. Další podstatným vlivem je úroveň interferenčních produktů, která omezuje počet účastníků, a také nižší propustnost .

Hlavní rozdíl na proti předešlým metodám u CDMA je bezkonfliktní vlastnost.Účastníci jsou tedy odlišeni individuálními sekvencemi (kódy), i když sdílejí stejný radiový kanál a komunikují současně. Vznikají tak kvaziortogonální signály . Proto je tato metoda vhodná pro mobilní systémy.



Obr.2.4:Mnohonásobný přístup CDMA

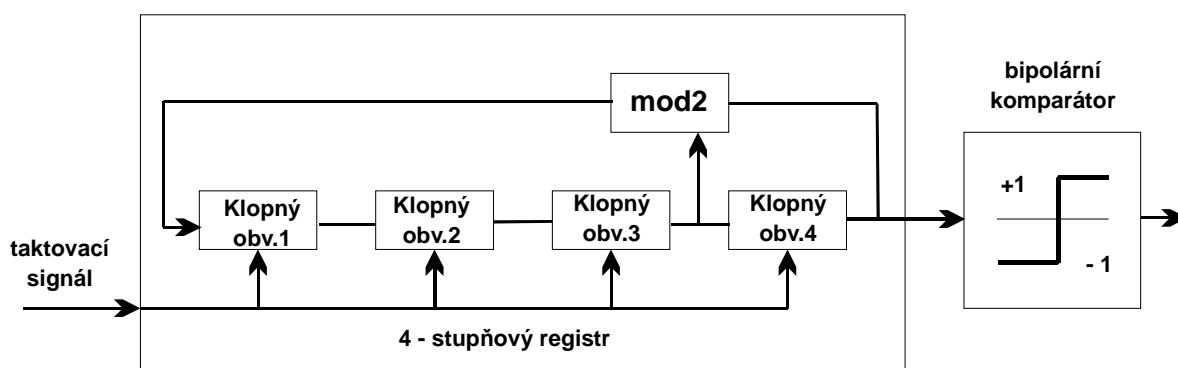
Existují dva protokoly přístupu u této metody. Důvodem je možnost vzniku kolize při současném vstupu dvou účastníků do systému nebo pokud je již systém obsazen. Prvním je opakovaný náhodný přístup, který umožňuje všem účastníkům opakovaně náhodný vstup do systému. To může mít za následek selhání všech pokusů některého z účastníků. Druhým z protokolů je náhodný přístup s rezervací, u kterého je opět první vstup náhodný. Pokud je úspěšný bude již přenos řízen systémem, který rezervuje kanál v přesně stanovené době.

Výše uvedené metody mnohonásobného přístupu vytvářejí složitou strukturu komunikační sítě (terminály, řídicí zařízení), přičemž dochází k využití přenosového média mnoha účastníky. Tyto komunikační sítě se vyznačují různou topologií a distribuovaným nebo centrálním řízením. Naopak metoda multiplexování je využívána systémem s jednorozměrnou topologií a terminálovým řízením (*Point to Point, Point to Multipoint*). Jedná se o proces sdružování několika signálů do jednoho výsledného, vhodného pro přenos komunikačním kanálem.

2.3.1 Kódový multiplex CDM

Víme, že metoda přístupu CDMA je založena na technice rozprostřeného spektra SS (*Spread Spectrum*), neboť je možné uskutečnit i spolehlivé spojení pomocí širokopásmového systému. Podstatou těchto systémů je tedy rozšíření modulovaného (informačního) signálu na vysílací straně, který je dále přenášen pře komunikační kanál. Na přijímací straně je opět kmitočtově konvergován na úzkopásmový signál. I když existuje celá řada systému SS, všechny vykazují stejnou vlastnost a to, že rozšíření spektra se dosahuje pomocí určitého kódovacího signálu, tedy modulace, která nijak nesouvisí s modulačním signálem nesoucím informaci.

Nedílnou součástí multiplexoru CDMA je i **generátor PNP**, se zapojením podle obr.2.5



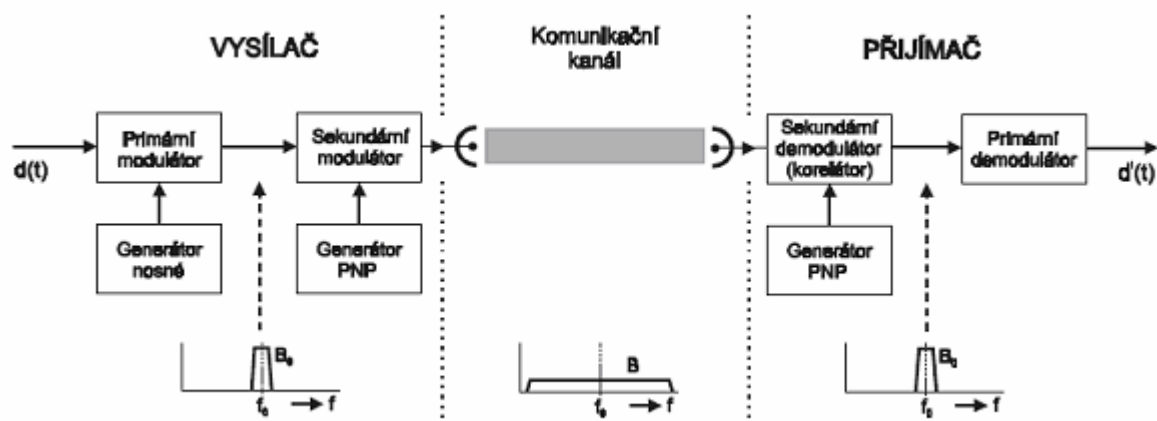
Obr.2.5: Generátor pseudonáhodného signálu realizovaný pomocí posuvného registru s lineární zpětnou vazbou

Tento generátor musí vykazovat konstantní výkonovou spektrální hustotu v celém rozptřeném pásmu. Kmitočet pseudonáhodné posloupnosti tak musí být dostatečně vysoký. Další důležitou vlastností je délka PN posloupnosti, která musí být dostatečná, aby nedocházelo k synchronizaci nežádoucího přijímače. Proto je generátor realizován pomocí posuvných registrů s lineární i nelineární zpětnou vazbou. Jako posuvné registry se využívají klopné obvody, jejichž zvolené výstupy se sčítají modulo 2. V závislosti na uspořádání zpětné vazby vykazuje perioda různé hodnoty. Maximální délka L této posloupnosti je u n -stupňového binárního registru rovna $2^n - 1$.

Jelikož je tento celý systém CDMA funkčně a obvodově složitý, popíšeme si nyní podrobně procesy na vysílací i přijímací straně. Jde o systém s rozptřeným spektrem, proto má dvojí transformace značný vliv na složení obvodů (viz. obr.2.6). Na vysílací straně je v primárním modulátoru se digitální modulační signál namodeluje na nosnou vlnu pomocí FSK, PSK, či jiné modulace. U FSK je binární signál vyjádřen pomocí dvou různých frekvencí, kdežto u PSK fázovým posunem. Vytvořený signál má takovou šířku pásma, která odpovídá šířce pásma modulačního signálu. V následujícím sekundárním modulátoru, např. PSK, dojde k další modulaci pseudonáhodné sekvence (posloupnosti), získané z generátoru PNP. Výsledkem rozptřovacího systému (viz. kap.2.4.1) je rozšíření šířky frekvenčního spektra signálu vyslaného přes komunikační kanál, a tak do tohoto rozšířeného frekvenčního prostoru je možné umístit signály od více účastníků.

Výhodou takto rozptřeného spektra je imunita vůči šumu a interferencím, dále vysoká inherentní odolnost proti úmyslnému rušení. Umožňuje i kódovaný multiplexní přenos mnoha

interferenčních kanálů ve stejné vysokofrekvenčním pásmu. S tím souvisí i možnost selektivního adresování.



Obr.2.6: Blokové schéma multiplexeru CDM s přímým rozprostřením

Signál vstupující na přijímací straně je přiveden do sekundárního demodulátoru PSK (korelátoru), který opět využívá binární signál z generátoru PNP. Tento binární signál pracuje podle stejného algoritmu a v přesném časovém synchronismu s generátorem na vysílací straně. Oproti modulátoru má signál úzkopásmový charakter a v primárním demodulátoru se běžným způsobem demoduluje. Pseudonáhodný binární signál musí mít opět dostatečnou délku, aby nedocházelo k synchronizaci nežádoucího přijímače. Aby jednotlivé posloupnosti byly jasně odlišitelné, je nutné mít ideální PNP pro omezení či eliminaci interferencí jednotlivých kanálů. Těmto požadavkům nejlépe vyhovují **Walshovy kódy**, **Barkerovy kódy**, **Huffmanovy posloupnosti** a **Goldovy kódy**. Walshovy funkce vytvářejí vzájemně ortogonální funkce, jejichž počet je dán jejich řádem. Platí tedy, že Walshova funkce řádu N poskytuje N -kanálový multiplex.

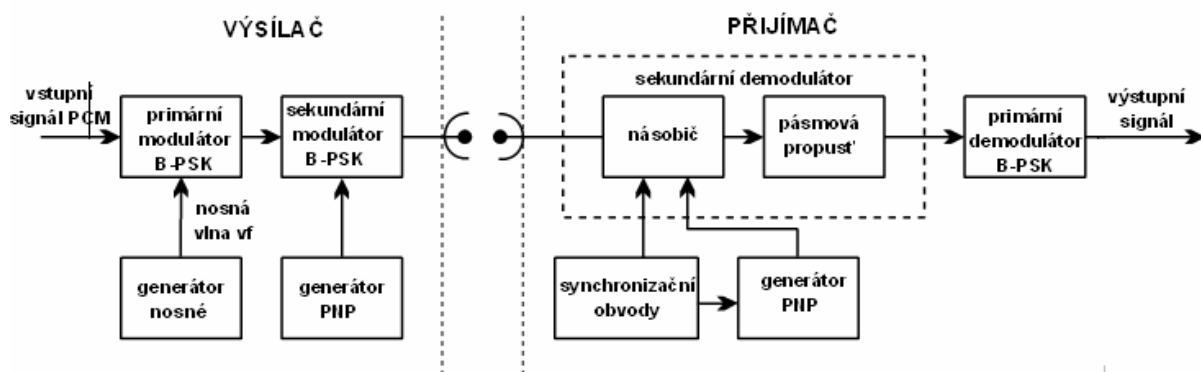
2.4 Systémy s rozprostřeným spektrem SS

Tyto systémy s rozprostřeným spektrem **SS** (*Spread Spektrum*) jsou nedílnou součástí metody mnohonásobného přístupu CDMA pro druhou generaci mobilních systémů a zejména pak systému UMTS v rámci třetí generace. V následujících částech je uveden jejich princip, základní vlastnosti a parametry (rozprostírací faktor, procesní zisk, rušení).

2.4.1 Systém s přímým rozptřením DS-SS

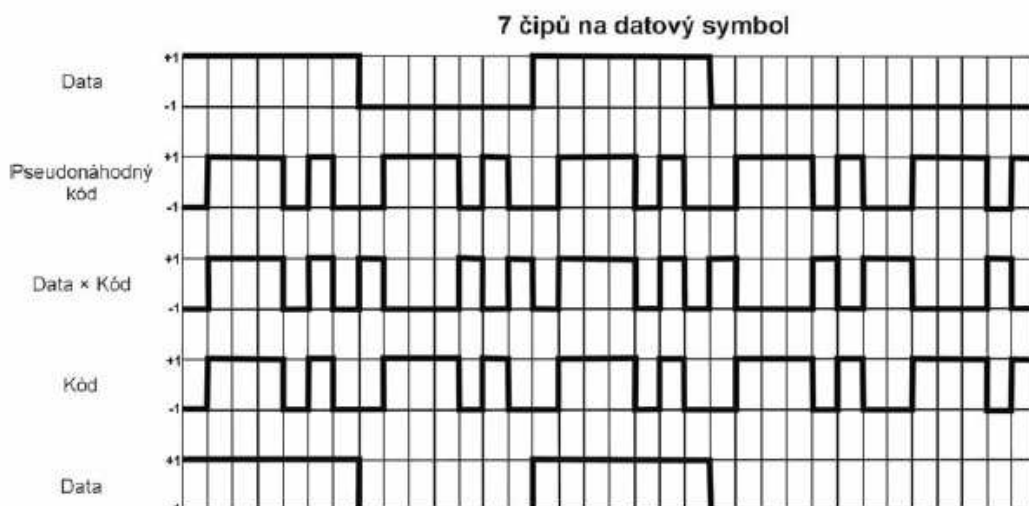
U systému s přímým rozptřením **DS-SS** (*Direct Sequence Spread Spektrum*) se jedná o nejčastěji využívanou variantu. Princip rozptření je zde vysvětlen s B-PSK modulátory (viz. obr.2.7), neboť QPSK modulátory běžně využívané např. v UMTS jsou složitější.

V primárním modulátoru na vysílací straně se vstupním signálem, který má podobu signálu PCM, dojde k dvojstavovému klíčování fázovým posunem (B-PSK). Signál z primárního modulátoru má tedy pásmo šířce rovnající se přibližně dvojnásobné bitové rychlosti R_b modulačního signálu PCM. Následuje další B-PSK modulátor, v němž je signál opět modulován binárním signálem, ale s pseudonáhodným charakterem. Rychlost PN signálu R_{pn} se volí záměrně o několik řádů vyšší, 10^7 až 10^{33} . Důvod je vysvětlen přímo u generátoru PNP.



Obr.2.7: Schéma komunikačního systému s přímým rozptřeným spektrem DS-SS

Na přijímací straně je provedena demodulace či korelace s využitím pseudonáhodného kódu, který má patřičné vhodné zpoždění (synchronizační obvod). Jak je vidět, je použita i pásmová propust, na jejímž výstupu je modulovaný původní signál. Průběh zpracování příchozího signálu je podle obr.2.8.



Obr.2.8: Přímé rozprostření signálu v časové oblasti

Při demodulaci se uplatní i **procesní zisk** PG (*Processing Gain*), kdy při procesu zpětného rozprostírání narůstá amplituda vlastního signálu oproti interferujícím signálům úměrně činiteli rozprostření a je vyjádřen vztahem

$$PG = \frac{B_{vf}}{B_i} = \frac{R_{pn}}{R_b} [-], \quad (2.1)$$

kde B_{vf} je šířka pásma širokopásmového rozloženého signálu a B_i je šířka pásma původního úzkopásmového signálu.

Jak už bylo uvedeno, rychlost PN sekvence R_{pn} se volí záměrně o několik řádů vyšší, 10^7 až 10^{33} , čímž procesní zisky současných systémů dosahují hodnoty v rozmezí 20 až 60 dB, který se projeví nárůstem amplitudy vlastního signálu, úměrně vůči činiteli rozprostření.

Posloupnost získaná generátorem PNP vykazuje minimální vazbu na rozprostírací posloupnosti ($DS-SS$) ostatních uživatelů, složenou z tzv. čipů (*chips*) a odtud vyplývá **čipová rychlost** R_{ch} . Vztah mezi těmito rychlostmi je vyjádřen **činitelem rozprostření** G_o neboli **rozprostíracím faktorem** SF (*Spreading Factor*) a je definován vztahem

$$G_o = SF = \frac{R_{ch}}{R_b} [-]. \quad (2.2)$$

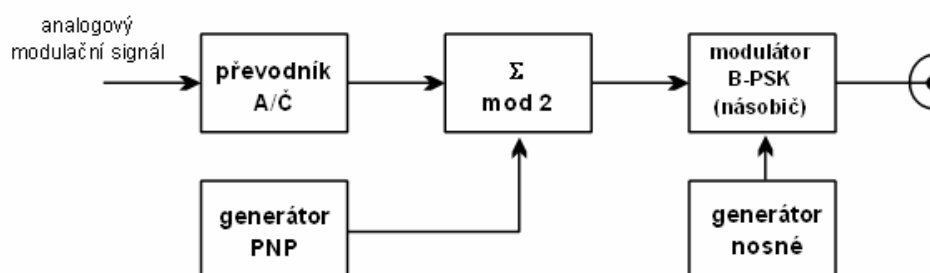
V praxi nabývá činitel rozprostření hodnot v řádu tisíců a větších. Dalším možným označením tohoto parametru je činitel rozšíření pásma (*Bandwidth Expansion Factor*), který přibližně udává poměr šířky pásma modulačního signálu před (B_i) a po (B_{vf}) jeho vynásobení rozprostírací PN sekvencí. U UMTS lze použít označení šířky pásma B_{Uu} na rozhraní Uu a B_B značící šířku pásma signálu v základním pásmu. Vyjádření pomocí vztahu je

$$SF = \frac{B_i}{B_{vf}} = \frac{B_{Uu}}{B_B} = \frac{2.t_i}{t_{pn}} [-] , \quad (2.3)$$

kde t_i je délka trvání bitů informačního signálu, t_{pn} je délka trvání impulsu PN generátoru

2.4.2 Vlastnosti systému DS-SS (2.varianta zapojení)

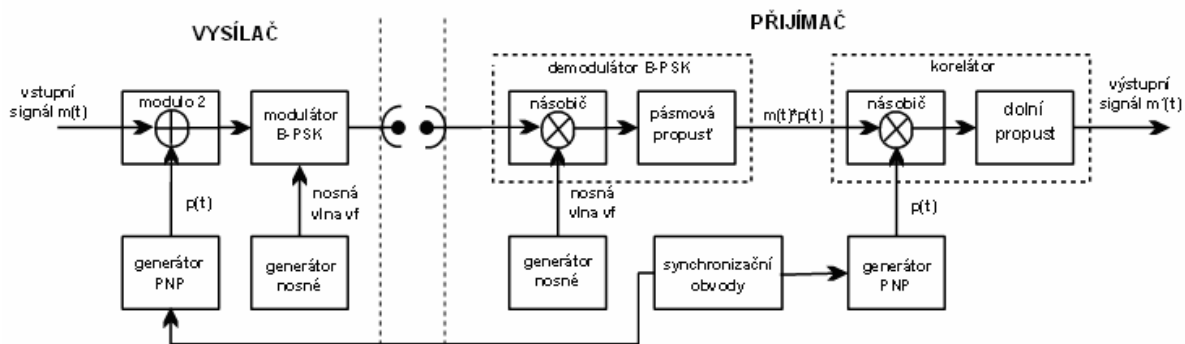
Jednou z vlastností všech systémů s rozprostřeným spektrem je vysoká účinnost potlačovat poruchy. U přijímače systému DS-SS tedy může nastat situace, kdy silný úzkopásmový rušivý signál není zpracováván korelátorem, tzn. že jde po parazitních cestách. To má zásadní vliv (intenzivní rušení) na zpracování užitečného signálu v dalších stupních přijímače. Proto se v praxi můžeme setkat s přijímačem typu přímá modulace (viz.obr.2.9), u kterého tento jev nenastává. Jak je vidět ze zapojení, rozdíl oproti předešlému systému je, že modulační signál se nejprve sečte s PN sekvencí a takto vzniklý signál je spolu s nosnou vlnou fázově klíčován v modulátoru B-PSK.



Obr.2.9: Systém s přímou modulací

Pokud se výše uvedené zapojení aplikuje do radiokomunikačního systému s přímým rozptřením DS-SS, vznikne tak systém s větší odolností vůči rušení (viz.obr.2.10). V tomto zapojení vstupuje do bloku pro sčítání (*modulo-2*) na vysílací straně modulační signál $m(t)$ o bitové rychlosti R_b . Druhým signálem je binární sekvence z generátoru PNP, přičemž rychlost tohoto signálu R_{pn} se volí záměrně o několik řádů vyšší, 10^7 až 10^{33} (viz. část generátor PNP). Výhodou je pokud se jedná o signály bipolární (NRN), potom je možné nahradit *modulo-2* analogovým násobičem. Získáme tak rozptřený signál $m(t)p_n(t)$, který je v sekundárním modulátoru B-PSK namodulován na nosnou vlnu $\cos \omega_c t$. Na výstupu vysílače tak vznikne signál

$$c(t) = m(t)p(t) \cdot \cos \omega_c t . \quad (2.4)$$



Obr.2.10: Schéma komunikačního systému s přímým rozprostřeným spektrem DS-SS

Na přijímací straně se signál nejprve zesílí a frekvenčně konverguje. Teprve potom následuje demodulace v násobiči s využitím repliky nosné vlny. Signál za násobičem je

$$r(t) = m(t)p(t) \cos\omega_c t (2\cos\omega_c t) = m(t)p(t) + m(t)p(t)\cos 2\omega_c t \quad . \quad (2.5)$$

Následující dolní propust' zajistí odstranění druhé harm. nosné $\cos 2\omega_c t$. Zůstane tak signál $m(t)p(t)$, jenž je v korelátoru vynásoben s pseudonáhodnou sekvencí $p(t) = \pm 1$, která má patřičné vhodné zpoždění (synchronizační obvod). Jelikož jsou uvažovány bipolární signály NRZ, je $p(t)^2 = (\pm 1)^2 = 1$. Jak je vidět, je použita i dolní propust, na jejímž výstupu je modulovaný původní signál

$$y(t) = m(t)p(t)p(t) = m(t)p(t)^2 = m(t) \quad . \quad (2.6)$$

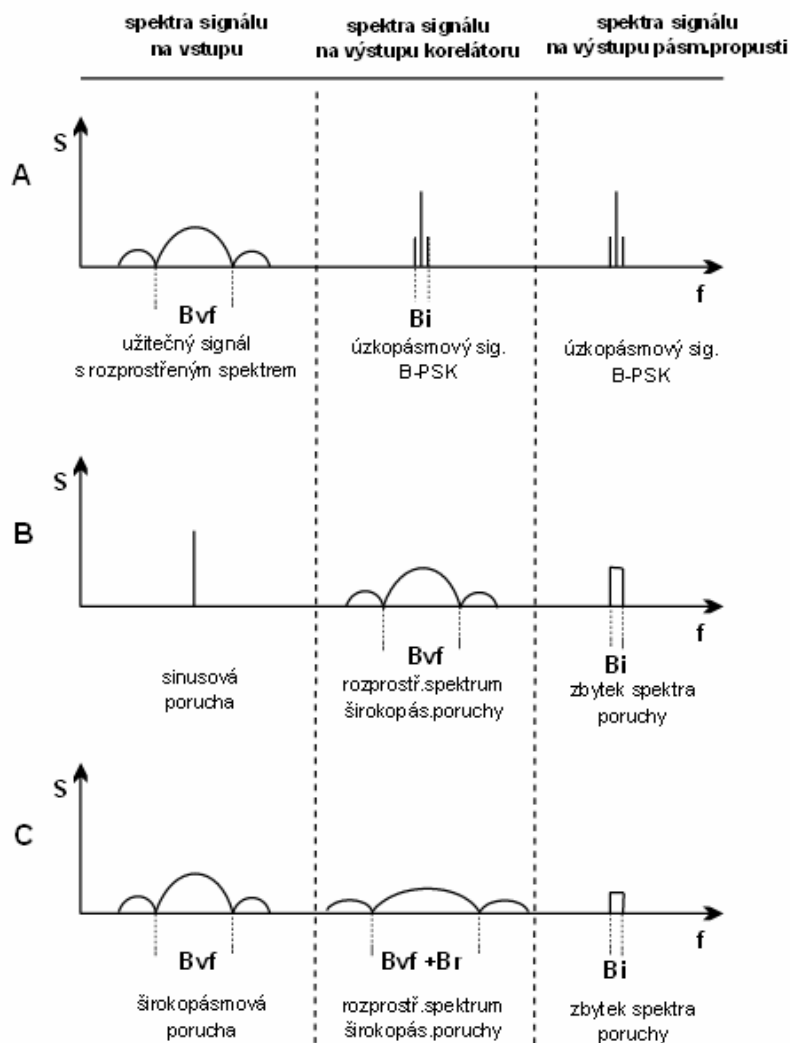
U systému DS-SS jsme se zmínili o procesním zisku PG , který se projevuje při demodulaci na přijímací straně. Také tomu je i u tohoto systému s přímou modulací, kdy charakterizuje zlepšení poměru signál/šum.

I u této varianty systému DS-SS je výstupní signál $m(t)$ doprovázen šumem $n(t)$ a interferencemi $i(t)$, především interferencemi mnohonásobného přístupu **MAI** (*Multiple Access Interference*). Za předpokladu, že oba tyto rušivé faktory jsou aditivní, je reálný výstupní signál vyjádřen vztahem

$$m'(t) = m(t) + n(t) + i(t) \quad . \quad (2.7)$$

Kromě procesu demodulace, při kterém dochází k zpáteční změně pásma z hodnoty B_{vf} na B_i (viz. obr.2.11a), je nutné uvažovat rušivý signál, který prochází na přijímací straně modelátorem. Tento rušivý signál je úzkopásmový a většinou nastává v případě současného vysílání s několika jinými úzkopásmovými vysílači. Způsobuje zpětné rozšíření na hodnotu B_{vf} (viz. obr.2.11b), přičemž předpokládáme, že rušení je sinusové. Následující pásmová propust nám

zajistí potlačení rušivého signálu v poměru B_o/B_i , který odpovídá procesnímu zisku PG . Získáme tak úzkopásmový signál šířky B_i .



Obr. 2.11: Vysvětlení principu potlačení poruch u systému s přímou modulací

Může nastat i situace, kdy na vstupu přijímače se objeví širokopásmový rušící signál, s šířkou pásma B_r srovnatelnou s šířkou B_{vf} . Tento druh rušení vzniká většinou vlivem jiného systému, který sdílí stejné frekvenční pásmo. Pokud však neprochází modelátorem vznikne pásmo šířky $B_r + B_{vf}$, které je širší než v případě úzkopásmového rušení a má také menší spektrální hustotu širokopásmové poruchy (viz. obr. 2.11c).

Nevýhodou všech těchto systémů jsou právě nároky na šířku pásma. Tento problém je poměrně snadno řešen rozdělením daného pásma na více kanálů s rozprostřeným spektrem. V případě pokud je vysílač blízko přijímače vzniká problém *Near-Far Problem*. Vysílače tedy mohou svým silným signálem přehlušit slabší signál vzdálenějšího vysílače, se kterým se právě komunikuje.

2.4.3 Využití kapacity kanálu v soustavách založených na DS-SS

Tato teorie (*Shannon –Hartleyova*) je zde uvedena z důvodu, že kromě užitečného signálu působí na přenos také bílý aditivní gaussův šum AWGN. Vliv takového šumu se projeví zkreslením přenášeného signálu, který se tak hůře zpracovává. Využívá se k vyjádření **maximální kapacity kanálu C** , podle vztahu

$$C = B_{\text{RF}} \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) [\text{bit/s}] , \quad (2.8)$$

kde S je střední výkon užitečného signálu, N je střední výkon šumu v patřičném pásmu (kanálu) a B_{RF} je frekvenční šířka kanálu v Hz .

Z tohoto vztahu vyplývá, že rychlost přenosu dat je přímo úměrná s šířkou kanálu (pásma) B_{RF} a naopak je nepřímo úměrná odstupu signál/šum SNR . Pokud uvažujeme konstantní výkonovou hustotu šumu N_0 , pak **výkon šumu** v kanálu lze vyjádřit

$$N = N_0 B_{\text{RF}} . \quad (2.9)$$

Výkon užitečného signálu na vstupu je

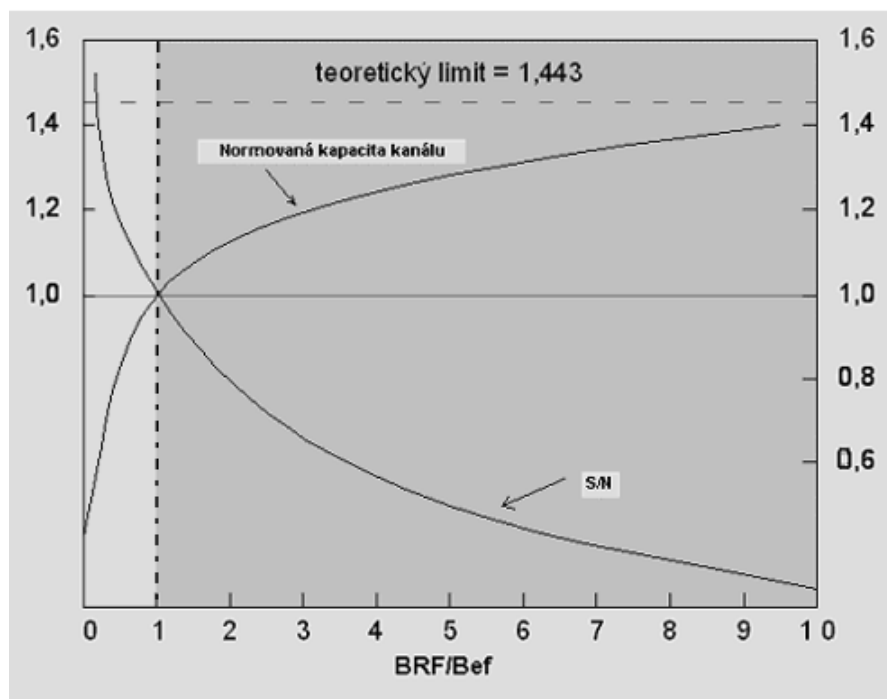
$$S = N_0 B_{\text{ef}} , \quad (2.10)$$

kde veličina B_{ef} odpovídá šířce pásma o spektrální výkonové hustotě N_0 v Hz a výkonu S .

Normovaná kapacita kanálu C_n je závislá pouze na normované šířce kanálu $B_{\text{RF}}/B_{\text{ef}}$ a lze ji vyjádřit takto

$$C_n = \frac{C}{B_{\text{RF}}} = \frac{B_{\text{RF}}}{B_{\text{ef}}} \log_2 \left(1 + \frac{S}{N_0} \right) = \frac{B_{\text{RF}}}{B_{\text{ef}}} \log_2 \left(1 + \frac{B_{\text{ef}}}{B_{\text{RF}}} \right) [\text{bit/s/Hz}] . \quad (2.11)$$

Ze závislosti normované kapacity kanálu C_n na poměru $B_{\text{RF}}/B_{\text{ef}}$ (viz.obr.2.12) lze odvodit následující podmínky. Pokud normovaná šířka pásma $B_{\text{RF}}/B_{\text{ef}}$ je <1 , nastane pokles normované kapacity kanálu C_n , avšak poměr S/N (signál/šum) náhle narůstá a tím i vysílaný výkon. Toto znázorňuje světlá oblast v grafu v rozmezí hodnot $B_{\text{RF}}/B_{\text{ef}} = 0 \div 1$.



Obr.2.12: Závislost norm. kapacity kanálu C_n a poměru signál/šum(S/N) na norm. šířce pásma B_{RF}/B_{ef}

Pro systém s CDMA jenž je založen na rozprostření do širokopásmového kanálu platí $S/N < 1$. Aplikací Shannova vzorce v UMTS dostaneme maximální kapacitu $C = 20$ Mbit/s při šířce pásma 5 MHz. Tato hodnota je však jen čistě teoretická. Jak je vidět na grafu, normovaná kapacita kanálu se pohybuje poměrně hluboko pod svým teoretickým limitem (vodorovná čárkovaná linka). To má za následek, že skutečná přenosová rychlost je pouze 2 Mbit/s.

Je patrný rozdíl mezi oběma systémy (CDMA, UMTS), neboť větší šířka kanálu nám umožňuje větší přenosovou kapacitu. Pokud je například použita modulace 16 QAM je dosažena určitá přenosová rychlost s předpokladem, že poměr S/N je adekvátní pro dosažení přiměřené chybovosti po dekódování a korekci chyb. Výsledkem je však limit ve vzdálenosti pro poskytování služeb. Modulaci 64 QAM získáme vyšší přenosové rychlosti opět za cenu snížení dosahu poskytovaných služeb, protože je potřeba většího SNR , aby bylo dosaženo patřičného poměru chybovosti BER .

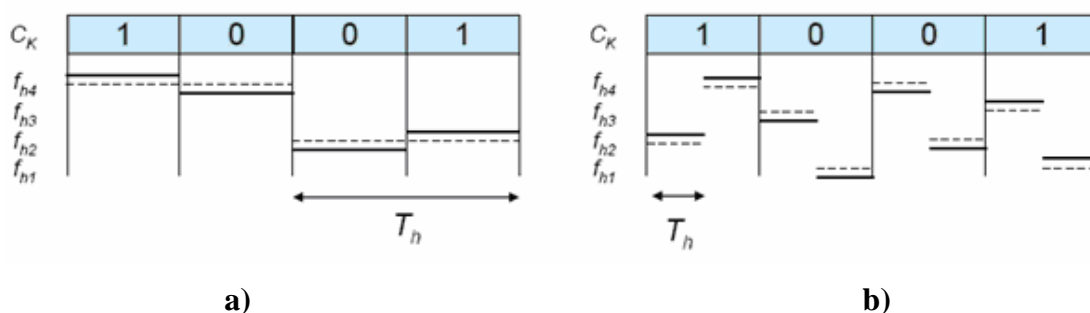
Ze všech těchto vlastností je zřejmé, že současné rychlosti dosahují jen zlomku teoretických limitů. Avšak aplikací vhodných modulací a systémů s rozprostřeným spektrem, které zajišťují výkon užitečného signálu pod úrovní šumu, je možné se kapacitnímu limitu přiblížit mnohem těsněji.

2.4.4 Rozprostírací systém FH-CDMA

Kromě systému s přímým rozložením jsou využívány i jiné. Jedním z nich **FH-CDMA** (*Frequency Hopping-CDMA*) zajišťující rozprostírání spektra s přeskakováním kmitočtů. Po celou dobu T_h jedné kombinace PN generátoru je vysílací frekvence konstantní. Její změna je závislá na změně této kombinace. Dělí se na pomalé (*Slow-hop*) a rychlé (*Fast-hop*) přeskakování (viz.obr.2.13). U systémů s rychlým přeskakováním je četnost frekvenčních skoků větší než je četnost změn vstupního signálu a u systémů s pomalým skákáním je tomu naopak.. Rychlost skákání je dána vztahem :

$$\nu_h = \frac{1}{T_h} . \quad (2.12)$$

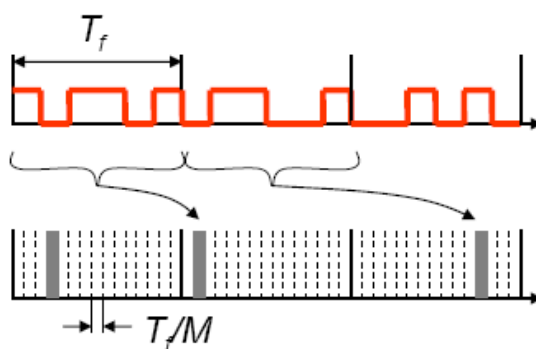
FH-CDMA poskytuje odolnost vůči částem spektra obsluhovaných jiným systémem a naopak nevýhodou je nutnost frekvenčního syntetizátoru.



Obr.2.13 :Průběhy: a) pomalého skákání $T_h > T_s$, b) rychlého skákání $T_h < T_s$

2.4.5 Rozprostírací systémy TH-CDMA

Dalším systémem je **TH-CDMA** (*Time Hopping-CDMA*), který poskytuje rozprostírání spektra s přeskakováním časových slotů, kdy přenášený signál je rozdělen do rámců o době trvání $T_f = k T_s$, z nichž každý má M časových slotů (viz.obr.2.14).Doba trvání každého z úseků je T_f/M .



Obr.2.14: Průběh metody TD-CDMA

TH-CDMA se vyznačuje se velkou pásmovou účinností. Je zde však nutná dlouhá doba přístupu a nutnost chybové korekce.

2.5 Hodnocení systému SS (metoda CDMA)

- Systémy s rozprostřeným spektrem vylepšují výrazně na přijímací straně poměr signál/šum a potlačují poruchy. Proto se používají tam, kde jsou tyto parametry kritické.
- Rušivý úzkopásmový signál většinou nastává v případě současného vysílání s několika jinými úzkopásmovými vysílači a způsobuje tak zpětné rozšíření frekvenčního pásma při demodulaci
- Normovaná kapacita kanálu podle *Shannon- Hartleyovy* teorie se pohybuje poměrně hluboko pod svým teoretickým limitem. Proto je skutečná přenosová rychlost je pouze 2 Mbit/s oproti teoretické hodnotě 20 Mbit/s.
- Při zpětném rozprostírání narůstá amplituda vlastního signálu oproti interferujícím signálům úměrně činiteli rozprostření (rozprostírací faktor).
- Další charakteristickou vlastností je schopnost utajovat přenášené informace.
- Jednou z vůbec nejdůležitějších aplikací těchto systémů je radiová navigace(zejména pro měření dálky).
- Určitou nevýhodou systémů s rozprostřeným spektrem jsou právě jejich velké nároky na šířku pásma zabíranou jediným kanálem.

3. UMTS

Se systémem **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*), třetí generace mobilních sítí, se můžeme setkávat od roku 2005 v rámci Evropy (i u nás). Je standardizován skupinou ETSI a pacifikován pro ITU (*International Telecommunication Union*) jako IMT-2000. Tento systém pracuje v pásmu 2GHz, při sjednocení přístupových technologií do jedné pružné a výkonné struktury. Laicky řečeno je možné se dovolat do kterékoliv pokryté oblasti na světě, bez ohledu na druhu sítě. Vlastnosti takto vytvořeného spojení na rádiovém rozhraní (rychlost, zpoždění,...) mohou být dohodnuty a optimalizovány dle konkrétní služby. Další z výhod je široký rozsah současně aktivních multimediálních služeb (videokonference, email,...). Existuje spolupráce UMTS s GSM, neboť využívá pokrytí systému GSM/GPRS a jen malé oblasti jsou pokryté systémem UMTS. Rastr umístování kanálů UMTS do spektra 200 kHz, je tedy stejný jako u GSM, proto využívání GSM mobilními terminály je i nadále.

Obecně pro tento systémy třetí generace byla zvolena technologie s kódovým dělením CDMA (*Code Division Multiple Access*). Tato technologie vykazuje při srovnání s předešlými metodami FDMA a TDMA u mobilních sítí výhodné vlastnosti. UMTS využívá širokopásmovou technologii **WCDMA** (*Wideband Code Division Multiple Access*), která využívá koherentní demodulaci, umožňující patřičné vyšší pokrytí. Jak už bylo uvedeno, u CDMA neexistuje žádné časové dělení, tedy všichni účastníci využívají jedno frekvenční pásmo současně, proto se k jejich rozeznání používá přidělený binární kód. V neposlední řadě tato metoda přístupu umožňuje :

- potlačovat interference vzniklé vícecestným šířením signálu nebo rušícími signály
- ochranu přenášeného signálu před odposlechy díky nízké výkonové hustotě rozptýleného signálu

V UMTS je úzkopásmový signál rozptýřen do frekvenčního pásma 5MHz s kmitočtovými rozestupy 200 kHz. Frekvenční pásmo 5 MHz vznikne vynásobením uživatelského bitového toku pseudonáhodnou bitovou sekvencí. Čipová rychlost dosahuje hodnoty 3,84 Mčip/s.

V roce 1992 ITU přidělila pro systémy 3G tyto frekvenční pásma :

- **párové pásmo** - 1920÷1980 MHz a 2110÷2170 MHz
- **nepárové pásmo** - 1910 ÷1920 MHz a 2010÷2025 MHz

V roce 2000 přidělila další tři pásma 806÷960MHz, 1710÷1885 MHz, a 2500÷2690 MHz (viz. obr.3.1) .

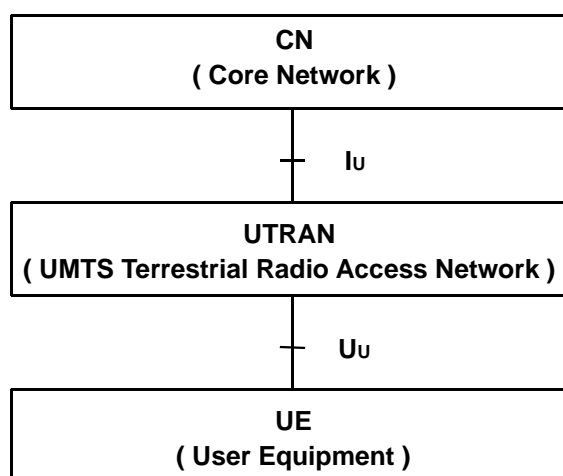


Obr.3.1:Frekvenční pásma přidělená jednotlivým systémům(GSM,UMTS)

Nicméně v rámci Evropy je použitelné pouze třetí z nich, prvé a druhé pásmo je obsazeno technologií GSM. Přenosová rychlost, která je v rozmezí od 144 kbit/s až do 2 Mbit/s, je odvozena z rychlosti pohybu mobilního terminálu (UE) a typu použité modulace. V závislosti na kvalitě signálu se mění modulace a počet bitů na paket. Důležitou rolí při výběru modulace má odstup úrovně přenášeného signálu od interferujícího (např.QPSK).

3.1 Struktura UMTS

Základní struktura UMTS se skládá ze čtyř hlavních částí, podle obr.3.2.



Obr.3.2:Struktura systému UMTS

Nejvyšší úroveň je páteřní síť **CN** (*Core Network*), vycházející z GSM / GPRS a využívající technologii ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). Následuje ji radiová přístupová síť **UTRAN** (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Na nejnižší úrovni se nachází uživatelé přistupující k UMTS pomocí uživatelských terminálů **UE** (*User Equipment*). Mezi úrovní CN a UTRAN je definováno rozhraní **I_U** a mezi UTRAN a UE se nachází rozhraní **U_U** .

Páteční síť CN, která má několik provedení, řídí provoz a spojení v systému. Hlavním požadavkem na CN je dostatečná přenosová kapacita. Přístupová síť UTRAN je částí systému, se kterým prostřednictvím rádiového rozhraní komunikují mobilní terminály. Přístupová síť UTRAN plní přenosové a přepojovací funkce. Co se týče uživatelského terminálu UE, jedná se o samostatnou část systému UMTS.

3.2 WCDMA

Tato široko pásmová technika je opět založená na systému s **přímým rozprostřením spektra DS-SS** (*Direct Sequence Spread Spektrum*) a poskytuje čtyřikrát širší radiové kanály než samotná metoda CDMA. Znamená to, že přenášené uživatelské bity jsou rozprostřeny do širokého rádiového pásma násobením čipů (kvazináhodných bitů) odvozených z CDMA rozprostíracího kódu. Další společnou vlastností s metodou CDMA je využití mnohacestného diverzitního přijímače RAKE. Na sestupné trase jsou použity odlišné kódy pro oddělení jednotlivých buněk, kdežto u vzestupné trasy jsou oddělování jednotlivý účastníci.

V rámci UMTS jsou využity dvě duplexní metody:

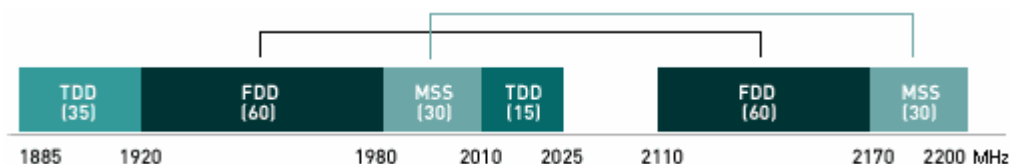
- **FDD** (*Frequency Division Duplex*) pro párové pásmo, kdy přenos v uplinku má jinou frekvenci než downlink. Z toho plyne přenosové pásmo o 10 MHz.
- **TDD** (*Time Division Duplex*) pro nepárové pásmo. Jde o princip duplexu s časovým dělením, kdy přenos v obou směrech (*uplink, downlink*) je na stejné frekvenci, avšak ta je střídavě propůjčena v krátkých časových intervalech (*time sloty*).

Pro FDD byla zvolena přístupová metoda **W-CDMA**, vhodná pro velkoplošné pokrytí (venkovské, městské zástavby) a symetrické středně rychlé datové služby. Nevýhodou jsou však požadavky na regulaci výkonu na straně mobilního telefonu i u základnové stanice **Node-B**. U duplexní metody TDD je přístupová metoda **TD-CDMA** (*Time Division CDMA*), která je zase vhodnější pro asymetrické vysokorychlostní datové přenosy, či pokrytí uvnitř budov, kde je vysoká hustota provozu. V tomto případě jsou použity k pokrytí mikrobuněk a picobuněk

Tyto dvě technologie využití pro jednotlivá subpásma, tvoří dohromady společné pozemní rádiové rozhraní **UTRA** (*UMTS Terrestrial Radio Access*), které je součástí systému **IMT-2000** (viz. obr.3.3) a je zpětně kompatibilní s GSM. UTRA poskytuje spojení mezi CN (Core Network) a mobilním terminálem.

Už zmíněné poskytování více aktivních multimediálních služeb je zajištěno právě díky WCDMA. S tím už souvisí i využití spojitých a nespojitých datových přenosu:

- **spojité** – pro aplikace v reálném čase (videokonference)
- **nespojité** – pro vzdálené připojení do LAN, či na internet

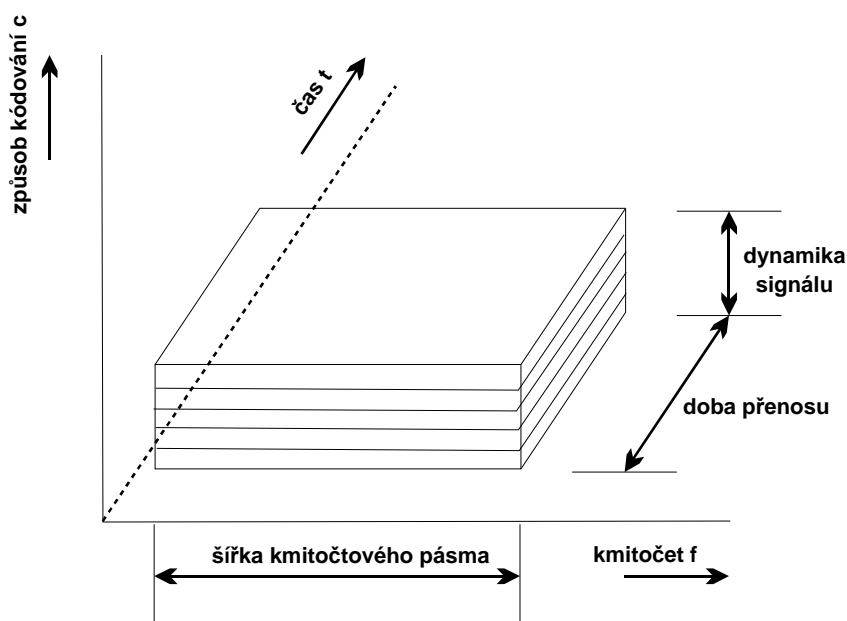


Obr.3.3: Rozložení spektra UMTS pro Evropu

Cílem systému GSM byl především přenos hlasu a mezinárodní roaming, kdežto u systému UMTS na multimediální služby a vysokorychlostní datové přenosy. Původní myšlenkou sítě UMTS bylo nabídnout tyto služby v hustě obydlených oblastech (velká města). Nevýhodou WCDMA je optimální řízení výkonu mobilních terminálů.

3.2.1 Metoda UTRA FDD

Pro duplexní metodu FDD se tedy podle UTRA využívá širokopásmová metoda **W-CDMA** (*Wideband CDMA*) s rozprostíráním přímou posloupností **DS-CDMA** (*Direct Sequence CDMA*). Jedná se o obdobný princip jako v části CDMA (viz. obr.3.4), kdy datový signál v základním pásmu je rozprostřen do širšího frekvenčního pásma.



Obr.3.4: Multiplexní přenos techniky DS-CDMA

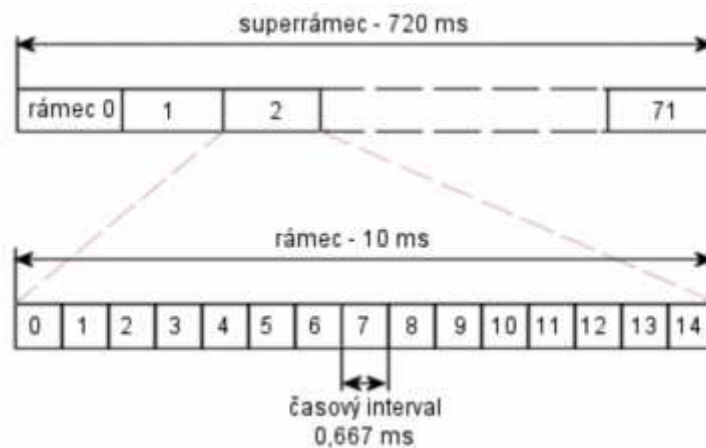
Čipová rychlost rozprostírací posloupnosti je obvykle 3,84 Mchip/s a tato rychlost vytvořeného signálu mnohonásobně převyšuje bitovou rychlost signálu kódovaného. Následuje tvarování impulsů pomocí RRC (*root raised cosine*) filtru. Po rozprostření signálu následuje modulace QPSK a vyslání tohoto signálu do prostoru. Výhodou modulace QPSK je přenos signálu o úrovni 11,5 dB menší než má interferenční signál.

U **UTRA FDD** se pro rozprostření signálu využívá více druhů posloupností:

- **OVSF**(*orthogonal variable spreading factor code*) **kódy** - oddělující přenosové kanály z jednoho zdroje. Tyto kódy umožňují rozprostření dat do čipů a jsou charakterizovány proměnným rozprostírajícím faktorem (*Spreading Factor*), udávající počet čipů na jeden bit.
- **Gold kódy** (dlouhé) - oddělující jednotlivé buňky navzájem. Tyto kódy mají periodu 10 ms a čipovou rychlost 3,84 Mchips/s (38400 čipů na periodu). Pro Gold kódy platí, že jsou vzájemně málo korelované a liší se vzájemným posunem.
- **Gold kódy** (krátké) - oddělující jednotlivé uživatele dané buňky. Perioda kódu je buď 38400 čipů, jako v předešlém případě, nebo 256 čipů.
- zvláštním případem jsou kódy (4096 čipů) odvozené z Gold kódů oddělující kanály pro náhodný přístup.

U této metody přístupu je zakódováno více uživatelských kanálů najednou a multiplexováním jsou vysílány všechny najednou ve stejném, širokém pásmu. Na přijímací straně je obnoven signál pomocí stejného kódu, jakým byl rozprostřen původní na vysílací straně. Důležitou podmínkou je opět vzájemná synchronizace. U každého uživatele (příjemce) je pomocí svého unikátního kódu obnoven pouze signál jemu příslušející.

Režim FDD poskytuje maximální přenosovou rychlost 384 kbit/s a tato rychlost se mění dle aktuální potřeby uživatele. Doporučuje se však kombinovat párové a nepárové frekvence. Rámec má dobu trvání 10 ms a je rozdělen na 15 timeslotů. Každý z těchto timeslotů má tedy délku 0,667 ms a je přidělen různým uživatelům podle obr.3.5.



Obr.3.5:Struktura rámce FDD

3.2.2 Realizace mnohonásobného přístupu DS-WCDMA

Jedná se o proces, kdy datový signál v základním pásmu je rozprostřen do širšího frekvenčního pásma. Na přijímací straně však kromě námi požadovaného signálu $s(t)$ určité stanice přicházejí i signály $c_i(t)$ ($i=1,2,\dots,N-1$) od zbývajících stanic pracujících na stejném nosném kmitočtu f_c . Na vstupu přijímače se tak vyskytuje celkový signál

$$r(t) = c(t) + \sum c_i(t), \quad (3.1)$$

přičemž $c(t) = m(t) p(t) \cos \omega_c t$ a $\sum c_i(t) = \sum m_i(t) p_i(t) \cos \omega_c t$.

Následně se provede stejná úprava, podobně jako u systému DS-SS (viz.kap.2.3.2):

- **synchronní demodulace** - signál $r(t)$ je násoben replikou nosné vlny $2 \cos \omega_c t$
- **dolní propust** - eliminuje druhou harmonickou nosnou. Vznikne tak signál

$$y(t) = m(t) p(t) + \sum m_i(t) p_i(t), \quad i=1,2,\dots,N-1 \quad (3.2)$$

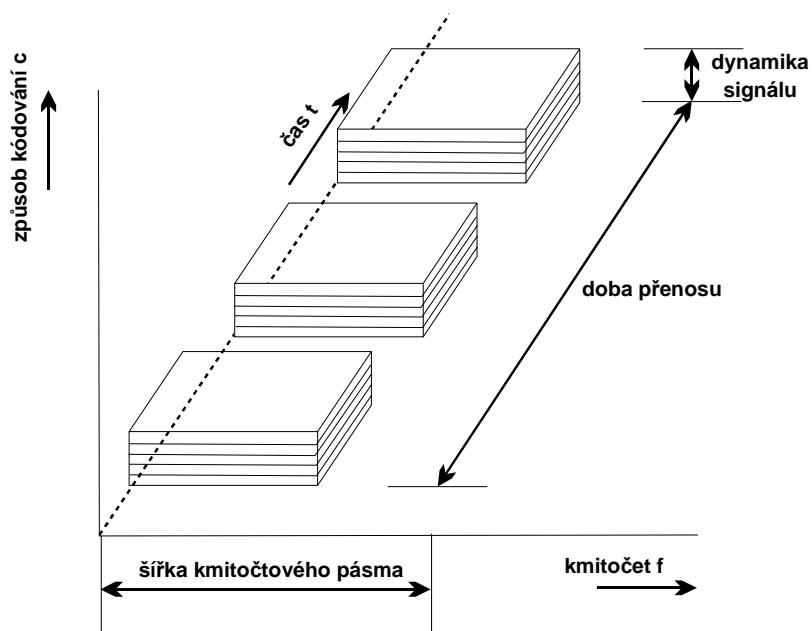
- **násobička v modelátoru** - zajistí změnu z širokopásmového signálu na uzkopásmový pomocí PN sekvence $p(t) = \pm 1$, přičemž $p(t)^2 = 1$. Výsledkem je signál

$$y(t) = m(t) p(t)^2 + \sum m_i(t) p_i(t) p(t) = m(t) + \sum m_i(t) p_i(t) p(t), \quad (3.3)$$

, kde interference mnohonásobného přístupu MAI je zde reprezentována výrazem $\sum m_i(t) p_i(t) p(t)$, která se přidává k užitečnému signálu $m(t)$. Tato interference je způsobena od jiných účastníků nebo radiokomunikačních systémů. Pokud ale tito účastníci budou mít velmi malou vzájemnou korelaci, bude tento šum zanedbatelný.

3.2.3 Metoda UTRA TDD

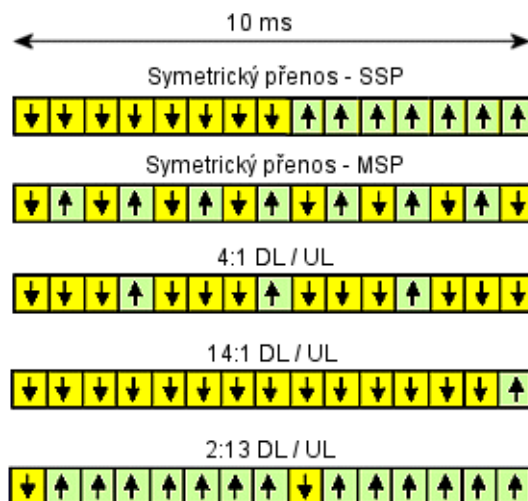
Pro duplexní režim TDD se podle **UTRA** využívá širokopásmová W-CDMA metoda v kombinaci s časovým rozdělením (viz.obr3.6) vzestupných (*uplink*) a sestupných (*downlink*) tras, označovaná taky jako **TD-CDMA** (*Time Division CDMA*). Existuje zde možnost implementace asymetrie do přenosového kanálu .To znamená, že v každém směru je použita odlišná přenosová rychlost.



Obr.3.6: Multiplexní přenos techniky TD-CDMA

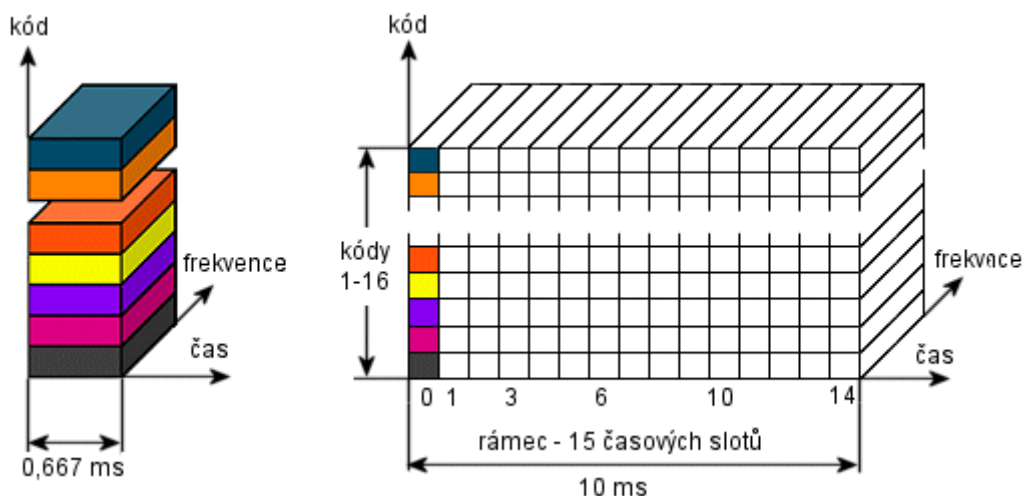
V dalších mnoha parametrech se TDD shoduje s FDD, jako je modulace QPSK, délka rámce, počet timeslotů, atd. Některé z timeslotů mohou být využity pro vzestupnou trasu (*uplink*), jiné zase pro sestupnou (*downlink*), protože se jedná o duplexní techniku. Poměr mezi těmito trasami je dán aktuální situací. Výjimku tvoří pouze první slot, který je vždy pro sestupnou trasu (*downlink*), podle obr.3.7.

Pokud se vyskytne pouze jedna změna směru v daném rámci, jedná se o symetrický přenos SSP (*Single Switching Point*), kdežto několik změn je označováno jako symetrický přenos MSP (*Multiple Switching Points*), viz.obr3.7.



Obr.3.7: Příklad rozdělení timeslotů pro jednotlivé směry

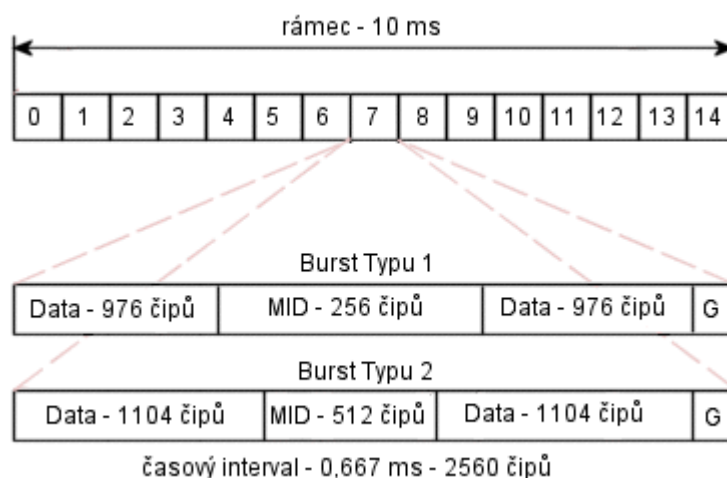
Kromě časového dělení se používají i **rozprostírající kódy** (maximálně 16), které umožňují komunikaci na více uživatelských kanálech (viz.obr.3.8), přičemž rozprostírací posloupnost může mít čipovou rychlost buď 3,84 Mchips/s nebo 1,28 Mchips/s .Tyto kódy mohou být buď se stabilním rozprostřením a přenosovou rychlostí (*Multi Code with Fixed Spreading*) přidělované jednomu či více uživatelům, nebo každý z uživatelů má pouze jeden kód s proměnným rozprostřením a přenosovou rychlostí (*Single Code with Variable Spreading*). Pro kódy se stabilním (konstantním) rozprostřením (*Multi Code with Fixed Spreading*) je přenosová rychlost v rámci jednoho časového intervalu konstantní a přidělováním dalších rozprostírajících kódů (jednoho či více) je přenosová kapacita pro daného uživatele zvyšována.



Obr.3.8: Využití rozprostírajících kódů

Z obrázku je patrné, že bity jsou přenášeny v blocích (burstech), které obsahují řídicí informace a přenášená data rozprostřena rozprostírajícím kódem (viz. obr. 3.9). Každý z burstů je zakončen ochrannou dobou (*Guard Period*). Definován je počet čipů, nikoliv počet přenášených bitů. Existují dva druhy burstů, lišící se velikostí přenášené a řídicí informace:

- **Burst typu 1** - použití na vzestupné i sestupné trase nezávisle na počtu uživatelů v časovém intervalu
- **Burst typu 2** - může být použit na vzestupné trase, ale pouze při počtu uživatelů v časovém slotu menším než 4. Sestupná trasa nezávisí na počtu uživatelů v časovém intervalu



Obr.3.9:Struktura rámce TDD

3.3 Kódy systému UMTS

Z dosavadního popisu systému UMTS je patrné, že jsou v rámci tohoto systému využity kódy s odlišnými vlastnostmi pro oddělení datových či řídicích kanálů nebo buněk :

- **scramblovací kódy** (*Scrambling Codes*)
- **kanálové kódy** (*Channelization Codes*)
- **rozprostírací kódy** (*Spreading Codes*)

3.3.1 Skramblovací kódy

Neboli tzv. **Gold kódy** využívané zejména metodou UTRA FDD. Oddělují jednotlivé buňky nebo uživatele. Tvoří jej 512 kódových sad, přičemž každá tato sada obsahuje jeden primární skramblovací kód a 15 sekundárních skramblovacích kódů. Celkový počet těchto kódů je $2^{18}-1$, což odpovídá hodnotě 262143.

Jak už bylo uvedeno dříve, existují dva typy těchto kódů. Krátký kód, který se používá zejména pro základnovou stanici využívající vylepšený příjem multiuživatelskou detekcí. Používá se i pro potlačení interferencí. Tyto kódy platí pro *uplink* a jsou dány vztahem

$$C_{SC} = C_1 + jW_2C_1C_{2D} , \quad (3.4)$$

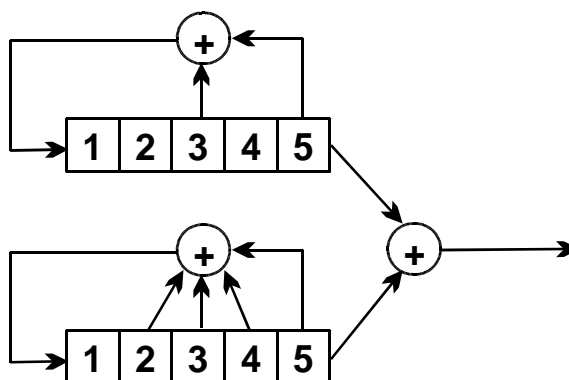
kde C_{SC} je krátký nebo dlouhý komplexní kód,

C_1 a C_2 jsou pseudonáhodné sekvence (nekomplexní),

C_{2D} decimovaná PN sekvence, získána decimováním dvěma sekvence C_2

W_2 je imaginární část tohoto rotátoru, tedy $W_2 = [1 \ -1]$.

Pro vytvoření kódu je zapotřebí jedné sekvence C_1 a sekvence C_2 , která je posunutou verzí C_1 o 16777232 čipů. C_1 je Goldův kód, který vznikne sečtením (*modulo 2*) dvou vzájemně posunutých PN sekvencí maximální délky, generovaných posuvnými registry, podle obr.3.10. V praxi se používá generátor s až 25 registry, což odpovídá délce $2^{25}-1$ čipů.



Obr.3.10:Příklad generátoru Goldova kódu

Kód pro *downlink* je pouze jednoho typu, přičemž skramblovací sekvence je dána vztahem

$$S_n(i) = z_n(i) + 1 z_n(i+131072) , \quad (3.5)$$

kde i nabývá hodnot 0 až 38399

Pro sekvenci z_n platí vztah

$$z_n = (x((i+n) \bmod (2^{18}-1)) + y(i)) \bmod 2 , \quad (3.6)$$

kde $n = 0 \div 2^{18}-2$, což znamená, že je k dispozici celkem $2^{18}-1$ různých skramblovacích kódů.

Jedná se o číslo výsledného skamblovacího kódu. Symboly x, y jsou sekvence z generátoru PNP, tvořeného 18 posuvnými registry

3.3.2 Walshovy funkce

Dříve než budou objasněny rozprostírací či kanálové kódy, je zde uveden princip Walshových funkcí, které jsou nedílnou součástí těchto kódů. Jedná se o kompletní systém ortogonální pravoúhlých funkcí ke generování signálů. Generování těchto signálů je rychlé a snadné, využívající Rademacherovy funkce. Jedná se o pravoúhlé průběhy se střídou 1:1 a v mocninách dvou (viz. obr. 3.11). Tato funkce může být reprezentována následujícím vyjádřením

$$W_j(t) \in (0, T), j = 0, 1 \dots N, \quad (3.7)$$

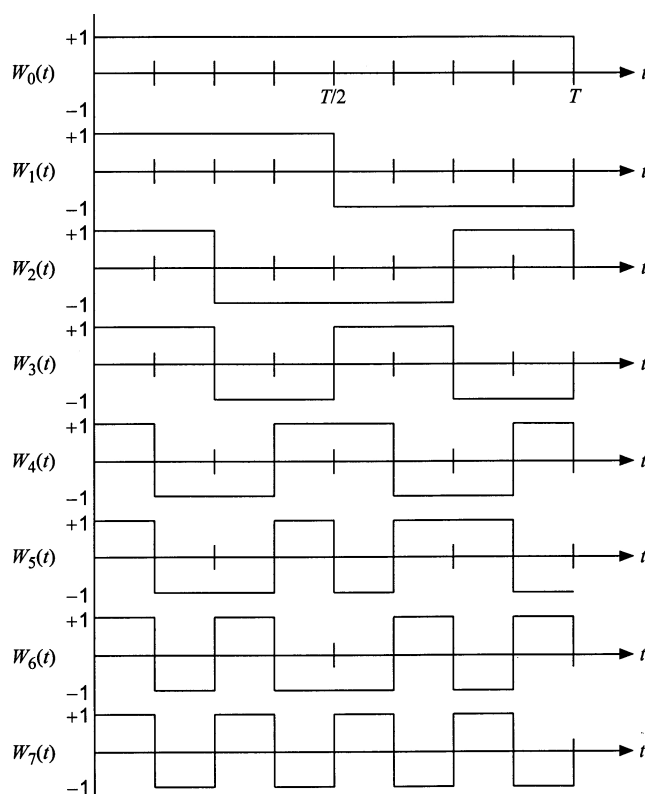
kde $W_j(t)$ označuje počet znaménkových změn. Podle jejich počtu se označují jako sudé nebo liché.

Vlastnosti této funkce mohou být vyjádřeny v této podobě:

- $W_j(t) = \pm 1$, $W_j(0) = 1$, přičemž $j = 0, 1 \dots N$
- $\int_0^T W_j(t) W_k(t) dt = T \delta_k$; $j, k = 0, 1 \dots N$

Příklad číselného vyjádření Walshovy funkce:

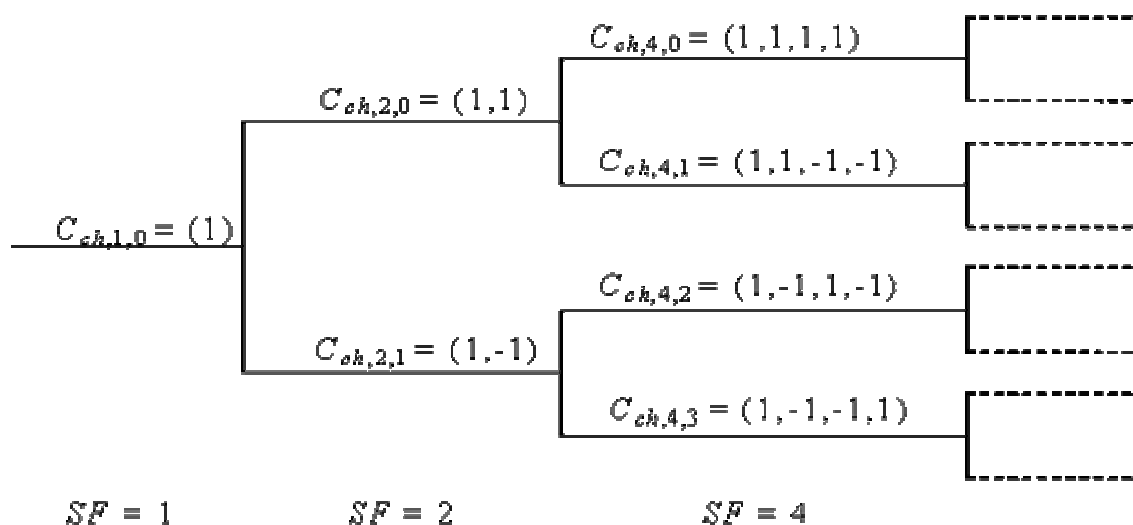
- $W_1(t) = \pm 1$
- $W_3(0) = (1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, -1)$



Obr. 3.11: Reprezentace Walshovy funkce

3.3.3 Kanálové kódy

Využívají se u **UTRA FDD**, kde slouží k oddělení datových a kontrolních kanálů jednoho uživatele. Vlivem konstantní čípkové a měnící se bitové rychlosti mají proměnný rozprostírací faktor SF . Jsou ortogonální, což nám zajišťuje požadované oddělení fyzických kanálů (Walsh-Hadamardův kód), ale jen za podmínky nulového vzájemného posuvu v čase. Příklad tohoto kódu je uveden podle obr.3.12, kde první číslo u značení jednotlivých větví (kanálů) je dán rozprostíracím faktorem SF odpovídající délce a počtu ortogonálních kódů dané délky. Druhé číslo(dále jen k) slouží k identifikaci kódu.



Obr.3.12: Stromová struktura OVSF kódů

Pro *uplink* platí:

- kontrolní kanál má $k=0$ a $SF = 256$
- jeden datový kanál má $k = SF/4$ a $SF = 4 \div 256$

Pro *downlink* platí:

- proměnný rozprostírací faktor SF je hodnoty $4 \div 512$

3.3.4 Rozprostírací kódy

Jsou použity zejména u metody **UTRA TDD**. Oddělením signálů od jednotlivých uživatelů umožňují komunikaci na více uživatelských kanálech, neboť všichni vysílají ve stejnou chvíli na stejné frekvenci. Tyto kódy podobně jako kanálové slouží k rozptřeni dat do čípků s využitím OVSF kódů, u kterých je nutné provést úpravu při jejich vytváření, neboť OVSF kódy jsou odlišně seřazené oproti Walsh-Hadamardovým kódům.

Vychází se z Hadamardovy čtvercové matice H nabývajících hodnot $+1$ a -1 , z čehož vyplývá, že její řádky a matice jsou vzájemně ortogonální. Hadamardova matice druhého řádu ($N = 2$) může vypadat takto

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Pokud je matice řádu $N = 2^t$, pak se vytváří opakovaným násobením matice v normálním tvaru

$$H_4 = H_2 H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Při určení kódové sekvence OVFSF označované jako $C_{ch,SF,k}$ (viz. obr. 3.11) se identifikační číslo k se přepočítává na číslo řádku ortogonální Hadamardovy matice h_j a vychází se vztahů

$$h_j = h_{j-1} + x_{i,j} \frac{SF}{2^j}, \quad j = 1, 2, \dots, k-1, \quad (3.10)$$

kde $x_{i,j}$ jsou prvky indexové posloupnosti $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{i2}, x_{i1})$, která vznikne převodem identifikačního čísla k do binární podoby.

Příklad výpočtu:

Chceme-li určit, který řádek Hadamardovy matice odpovídá OVFSF sekvenci $C_{ch,4,2}$ řádu $N = SF = 4 = 2^2$, s indexovou posloupností $X_2 = (1 \ 0)$. Tyto hodnoty se dosadí do vztahu 3.10 a získá se tak hodnota hledaného řádku

$$- h_1 = x_{i,1} \frac{SF}{2^1} = 0 \frac{4}{2^1} = 0$$

$$- h_2 = h_1 + x_{i,2} \frac{4}{2^2} = 0 + 1 \frac{4}{2^2} = 1$$

Výsledkem je druhý řádek Hadamardovy matice, neboť indexování je od 0.

Využitím Matlabu s funkcí *hadamard*, můžeme hledanou kódovou sekvenci OVFSF určit podle následujících příkazů

```
m=log2(sf) %vypocet m udavajici delku indexove posloupnosti
pom=de2bi(k,m)%prevod indentifikace k na binarni poslopnost
h=0 ; %pocatecni nastaveni
for i=1:m
    h=h+pom(i)*sf/2^i % stanoveni radku hadarmard. matice
end
ha=hadamard(sf)% generovani hadamardovy matice
vystup=ha(h+1,:) % urceni hledane sekvence OVFSF kodu
```

Vstupní proměnná k určuje identifikační číslo kódu a SF určuje řád tohoto kódu. Pokud $k = 2$ a $SF = 4$ je získán tedy výsledek $vystup = (1, -1, 1, -1)$ odpovídající hledané sekvenci $C_{ch,4,2}$, (viz.obr.3.11).

3.4 Hodnocení systému UMTS (rozprostírací posloupnosti)

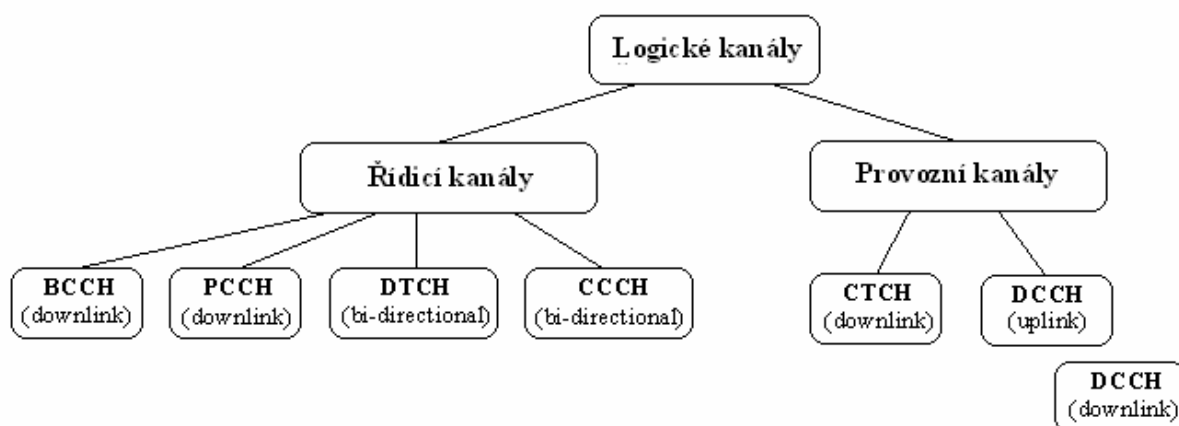
- Hlavním rozdílem oproti CDMA je, že větší šířka kanálu umožňuje větší přenosovou kapacitu.
- Jedním z důležitých požadavků na rozprostírací kódy je autokorelační funkce, která má výrazné maximum, od něhož rychle klesá k nule. Tím je zajištěna rychlá synchronizace přijímače. Při minimální vzájemné korelaci je snížena míra interferencí mezi uživateli.
- Duplexní metoda UTRA FDD jenž je pro párové pásmo umožňuje přenos v uzlinku na jiné frekvenci než u downlink. Kóduje více uživatelských kanálů najednou a následným multiplexováním jsou vysílány všechny najednou ve stejném širokém pásmu.
- U metody UTRA TDD se jedná o nepárové pásmo s přenosem na stejné frekvenci pro oba směry, kde kromě časového dělení se používají i rozprostírací kódy, které umožňují komunikaci na více uživatelských kanálech.
- Pseudonáhodné posloupnosti, neboli periodické signály mají statistické vlastnosti blízké šumu (Gold kódy,...). Kdežto ortogonální posloupnosti mají nulovou vzájemnou korelaci, ale nevýraznou autokorelační funkci (Walshovy funkce).

4. Kanály systému UMTS

V systému UMTS jsou definovány různé typy kanálů pro přenos signálů mezi vrstvami modelu OSI. V této kapitole budou popsány tři hlavní typy těchto kanálů. Jde o fyzické kanály (*Physical Channel*) používané pro vysílání datových signálů přes radiové rozhraní (fyzickou vrstvu), které budou podrobněji popsány později (viz.kap.5.1). Transportní kanály (*Transport Channels*) jsou definovány na rozhraní mezi fyzickou vrstvou a vrstvou MAC (*Medium Access Control*). Používají se pro multiplexování signálů různých služeb a umožňují jednosměrný přenos (*uplink* nebo *downlink*) s proměnnou bitovou rychlostí. Posledním typem jsou logické kanály (*Logical channels*), používané na rozhraní mezi vrstvami MAC a RLC (Radio Link Control). Na rozdíl od transportních kanálů umožňují jednosměrný i obousměrný přenos (*bidirectional*).

4.1 Logické kanály

Logické kanály se rozdělují na řídicí kanály (*Control Channels*) a provozní kanály (*Traffic Channels*). Řídicí kanály se používají pro přenos signalizace a provozní kanály pro přenos uživatelských dat (viz.obr.4.1).



Obr. 4.1: Logické kanály systému UMTS

Řídicí kanály:

- downlink

BCCH (*Broadcast Control Channel*) slouží k přenosu specifických řídicích informací o buňce

PCCH (*Paging Control Channel*) obsahuje pagingové informace

- bi-directional

DCCH (*Dedicated Control Channel*) slouží pro obousměrný přenos řídicích informací k UE, používá se při připojení do sítě (pro jeden UE)

CCCH (*Common Control Channel*) slouží pro více UE, když ještě není vytvořen DCCH, probíhá výměna řídicích informací mezi UE a sítí

Provozní kanály:

- downlink

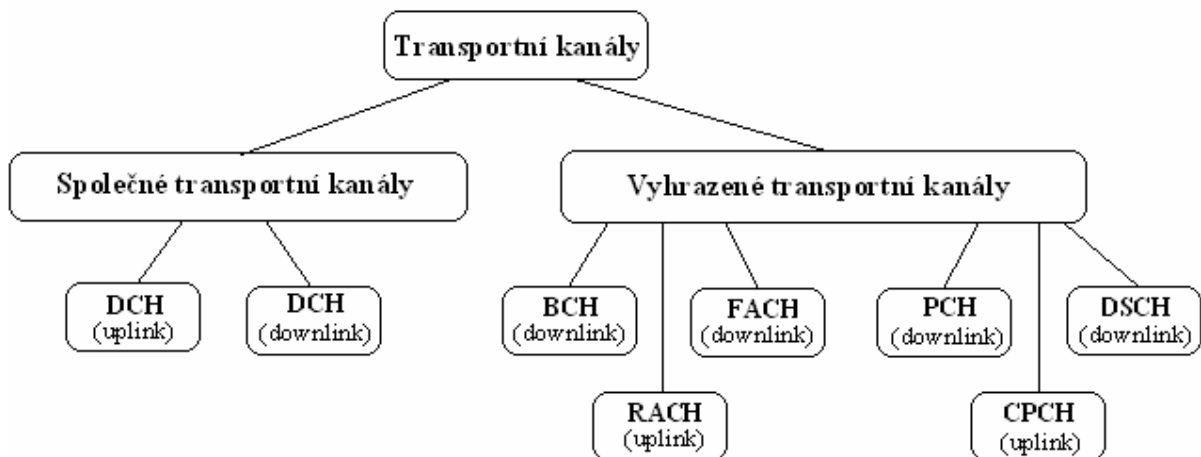
CTCH (*Common Traffic Channel*) kanál pro spojení Point-to-Multipoint pro přenos specifických uživatelských informací pro všechny nebo pro vymezenou skupinu uživatelů

- downlink/uplink

DTCH (*Dedicated Traffic Channel*) kanál pro spojení *Point-to-Point*, vyhrazený pro jeden UE, zajišťuje přenos uživatelských informací mezi sítí a UE, může být sestaven v downlinku nebo uplinku, tedy pouze v jednom směru

4.2 Transportní kanály

Se dělí na společné transportní kanály (*Common Transport Channels*) a vyhrazené transportní kanály (*Dedicated Transport Channels*). Jejich základní rozdělení je přehledně znázorněno na obr.4.2.



Obr. 4.2: Transportní kanály systému UMTS

Společné transportní kanály

- downlink

BCH (*Broadcast Channel*) přenáší systémové informace ke všem UE v buňce, poněvadž parametry BCH jsou známy všem UE, mohou být informace dekodovány každým UE

FACH (*Forward Access Channel*) přenáší relativně malé množství dat, parametry FACH jsou přenášeny v systémových informacích

PCH (*Paging Channel*) přenáší důležitá data pro pagingovou proceduru, tím umožňuje účinně využívat klidového režimu UE a šetří se baterie

DSCH (*Downlink Shared Channel*) je společný pro několik uživatelů, z tohoto hlediska podobný FACH, podporuje rychlé řízení výkonu, přiřazuje se k DCH

- uplink

RACH (*Random Access Channel*) přenáší řídicí informace z UE do sítě, např. pro proceduru náhodného přístupu. Může být použit i pro přenos malého objemu dat do sítě. Je využíván všemi UE, proto existuje velká pravděpodobnost kolize. Parametry kanálu se přenáší v systémových informacích kanálu BCH

CPCH (*Common Packet Channel*) podobně jako RACH je užíván k přenosu dat do sítě, ale pro zabránění kolizí radiového rozhraní používá speciální CPCH proceduru

Vyhrazené transportní kanály

- downlink/uplink

DCH (*Dedicated Channel*) vyhrazen pouze pro jeden UE, provádí přenos řídicích informací, tak i uživatelských dat, jako jediný transportní kanál podporuje měkký handover

5 WCDMA fyzická vrstva

V této kapitole je popsána WCDMA (*UTRA FDD*) fyzická vrstva (*WCDMA Physical Layer*). Fyzická vrstva radiového rozhraní je typicky hlavní diskusním tématem, kdy různé buňkové systémy jsou navzájem porovnávány, přičemž fyzická vrstva má také majoritní dopad na přístrojovou složitost.

5.1 Fyzické kanály

Tyto kanály se používají k přenosu datových signálů přes radiové rozhraní. Jsou definovány řadou parametrů (kmitočet nosné, skramblovací kód, apod.) a rozdělují se podobně jako transportní kanály na:

Vyhrazené fyzický kanály

Vyhrazený fyzický kanál (*Dedicated Transport Channel*) nese veškeré informace určené pro daného uživatele z vrstev nad fyzickou vrstvou, včetně dat pro prezenční službu stejně jako řídicí informace vyšší vrstvy. Jsou přiděleny pro jednotlivá radiová spojení. Mezi nejvýznamnější představitele této skupiny patří tyto dva :

- downlink/uplink

DPDCH (*Dedicated Physical Data Channel*) vyhrazen pro přenos datových signálů transportních kanálů.

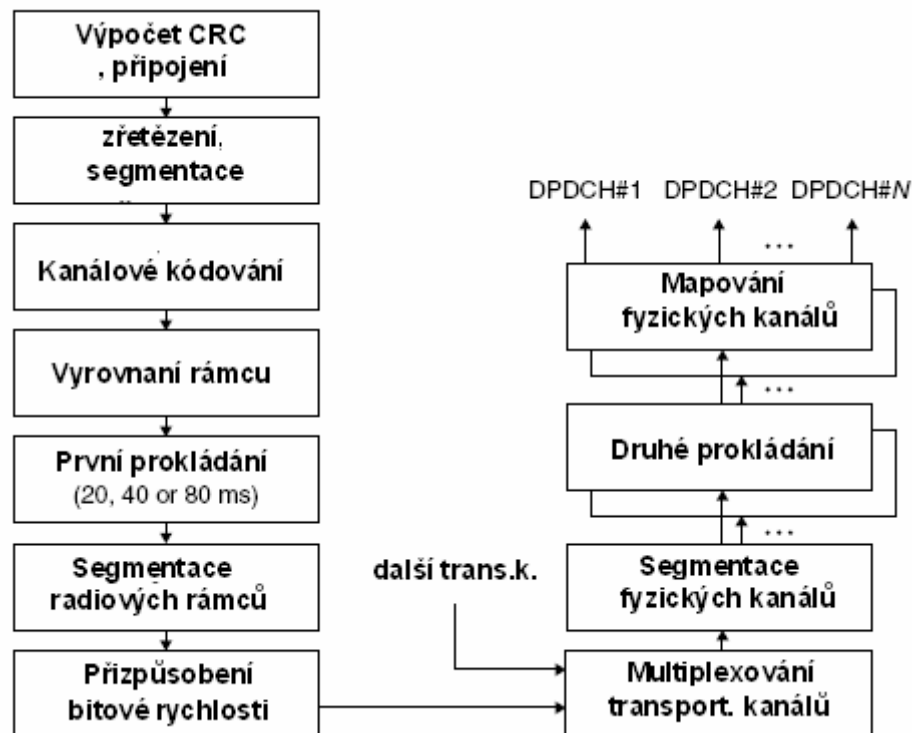
DPCCH (*Dedicated Physical Control Channel*) vyhrazen pro přenos informací fyzické vrstvy důležité pro činnost systému. Přenášen zároveň s DPDCH.

Společné fyzické kanály:

Společný fyzický kanál (*Common Transport Channel*) je sdílen všemi nebo skupinou uživatelů, existuje šest různých druhů těchto kanálů definovaných pro UTRA v Release '99. Příkladem je kanál **PRACH** (*Physical Random Access Channel*) pro přenos **RACH**. Mimo to využívá speciální přístupovou proceduru pro nastavení počáteční výkonové úrovně signálu.

5.2 Funkce fyzické vrstvy (v rámci FDD)

Způsob zpracování signálu vhodného pro přenos v radiovém prostředí je v systému UMTS různý pro *uplink* a *downlink*. Přesto je možné hlavní funkce fyzické vrstvy obecně shrnout do následujících bodů: kanálového kódování (FEC), multiplexování transportních kanálů, mapování transportních kanálů do fyzických kanálů, rozprostírání signálů, modulace a řízení výkonu. Počáteční procesy zpracování signálů se tedy skládají z následujících částí, které jsou zároveň znázorněny na obr. 5.1 .



Obr.5.1 : Funkce fyzické vrstvy

Výstup po vnitřním prokládání je typicky mapovaný do jednoho DPDCH kanálu. Jen pro velmi vysoké přenosové rychlosti je výstup rozložen na několik DPDCH kanálů, jedná se o multikódový přenos. V první řadě, transportní kanály jsou kódovány a multiplexovány jak je popsáno výše, tedy do jednoho toku dat jsou mapovány jedním nebo několika fyzickými kanály.

5.2.1. Kanálové kódování

Po přijetí transportního bloku z vyšších vrstev, je první operace připojení CRC. Kontrolní součet CRC (*Cyclic Redundancy Check*) je využíván pro kontrolu chyb transportních bloků v přijímací stanici. Délka CRC, která se přidává k bloku, má čtyři různé hodnoty (0, 8, 12, 16 a 24 bitů). Více bitů CRC obsahuje, pokud je pravděpodobnost neodhalené chyby transportního bloku větší.

Po připojení kontrol CRC jsou všechny bloky n jednoho intervalu TTI opět sériově seřazeny neboli zřetězeny. Jestliže celkový počet bitů po zřetězení je větší než maximální počet bitů kódového bloku pro kanálové kódování, je provedena segmentace kódového bloku. Zřetěžené transportní bloky jsou proto segmentovány na kódové bloky stejné velikosti. Nyní se každým

kódovým blokem provádí kanálové kódování, jehož kódovací schéma závisí na typu transportního kanálu (viz.tab.1).

Transportní kanál	Kódovací schéma	Kódovací poměr
BCH	Konvoluční kódování	1/2.
PCH		
RACH		
CPCH, DCH, DSCH,FACH	Turbo kódování	1/2 , 1/3
		1/3.
	Bez kanálového kódování	

Tab.1: Kanálové kódování různých transportních kanálů

5.2.2 První prokládání

Po kanálovém kódování se datový tok doplní určitým počtem bitů tak , aby mohl být rozdělen na N datových segmentů stejné velikosti, kde $N = TTI / 10 \text{ ms}$ (využívá se pouze v UL). Perioda prokládání přímo souvisí s dobou přenosu (TTI), která signalizuje jak často přicházejí data z vyšších vrstev k vrstvě fyzické.

Následuje první prokládací proces (*Interleaving*), při kterém se používá blokové prokládání. Počet sloupců matice závisí na intervalu TTI a je násobkem periody radiového rámce (10 ms). Z uvedeného vyplývá, že první prokládání se provádí přes délku intervalu TTI pouze v případě, kdy TTI je větší než 10 ms.

Po prvním prokládání jsou data segmentována do radiových rámců (*Radio Frame Segmentation*). Celkový počet rámců je N a každý má délku 10 ms.

5.2.3 Přizpůsobení bitové rychlosti

Poněvadž po kanálovém kódování byl datový tok doplněn vhodným počtem bitů, je zaručeno, že počet bitů v každém rámci bude stejný. Nyní následuje tzv. přizpůsobení bitové rychlosti (*Rate Matching*), které zajišťuje, že celkové množství dat po multiplexování bude stejné jako požadované množství dat pro radiový rámec. To je zajištěno buď vytečkováním (*puncturing*) nebo opakováním. Jedním z důvodů pro vytečkování je vyhnout se multikódovému přenosu.

Vyskytují se dva druhy přizpůsobení bitové rychlosti:

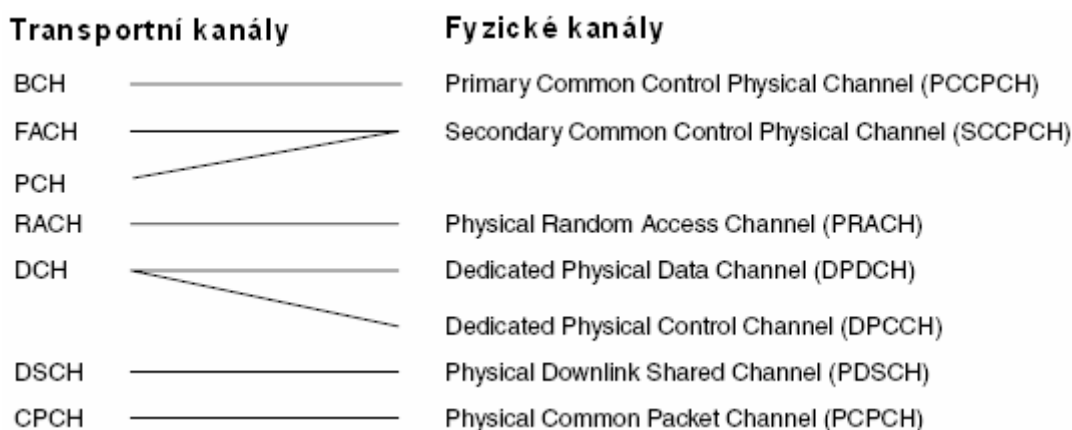
- **statické** přizpůsobení bitové rychlosti je uskutečněno typicky vždycky, když dopravní kanál je přidán nebo odstraněn ze spojení.
- **dynamické** přizpůsobení bitové rychlosti

5.2.4 Multiplexování transportních kanálů

Před mapováním transportních kanálů do fyzických kanálů se provádí jejich multiplexování, což umožňuje uživateli využívat několik transportních kanálů a tedy i několik služeb. Po procesu přizpůsobení bitové rychlosti jsou kódované transportní kanály multiplexovány do jednoho kódového kompozitního transportního kanálu (CCTrCH). Způsob multiplexování dvou kódovaných transportních kanálů ukazuje.

5.2.5 Mapování transportních kanálů do fyzického kanálu

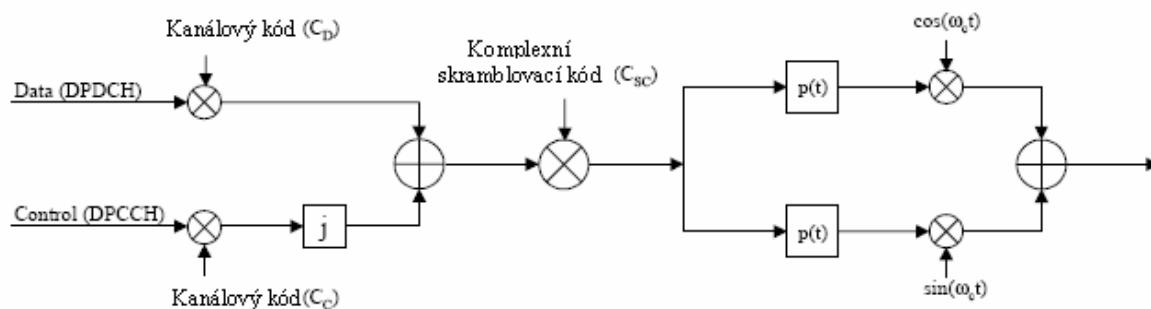
Diagram mapování transportních kanálů (vybraných) do fyzických kanálů je zobrazen na obr.5.2. Z něj vyplývá, že kanály FACH a PCH mohou sdílet stejný fyzický kanál S-CCPCH. Je však možný případ, kdy každý z těchto kanálů bude mít různý kanál S-CCPCH. Ostatní transportní kanály jsou mapovány způsobem „jeden do jednoho“. Multiplexování kanálů FACH a PCH se provádí z důvodu úspory vyzářeného výkonu z Node B.



Obr. 5.2: Mapování transportních kanálů do fyzických kanálů

5.2.6 Rozprostírání a modulace signálu (*uplink*)

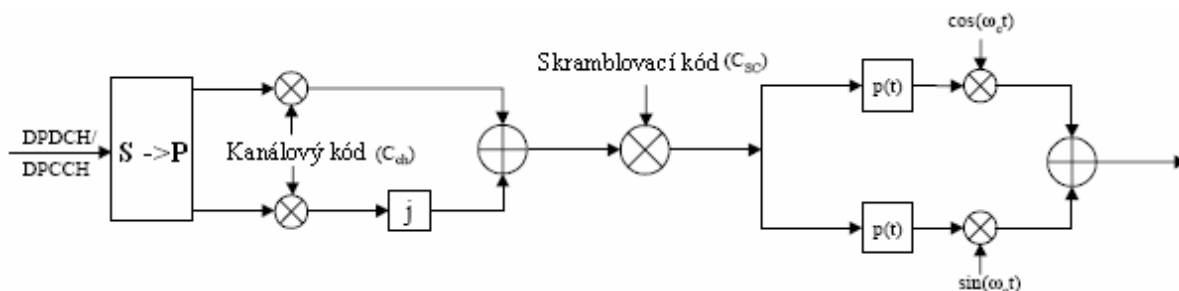
Rozprostírání signálu a modulace pro *uplink* jsou zachyceny na obr.5.3. Využívá se zde dvoukanálová modulace *QPSK*, kde kanály DPDCH a DPCCH jsou mapovány do příslušné *I* a *Q* větve. Rozprostření v *I* a *Q* větvi je realizováno dvěma různými kanálovými kódy c_{DD}/c_C (OVSF) a je provedeno komplexní skramblování, kdy sekvence $I + jQ$ je násobena pomocí specifického komplexního skramblovacího kódu c_{scramb} . Předností tohoto skramblování je omezení průchodu nulou v rovině *IQ* a tím snížení poměru maximální a střední úrovně signálu.



Obr. 5.3 : Rozprostírání a modulace pro uplink DPDCH/DPCCH

5.2.7 Rozprostírání a modulace signálu (*downlink*)

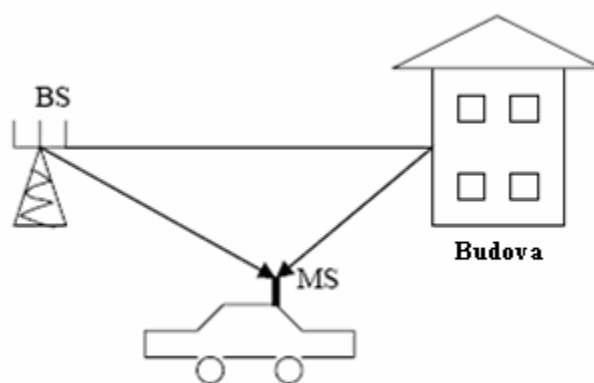
Rozprostření a modulace pro *downlink* jsou znázorněny na obr.5.4. Datová modulace je pomocí *QPSK*, kde každý kanál je sério-paralelně konvertorován a mapován do příslušné *I* a *Q* větve. Rozprostření v *I* a *Q* větvi je realizováno se stejným kanálovým kódem c_{ch} OVFSF (reálné rozprostření) a následovně jsou signály skramblovány stejným specifikovaným skramblovacím kódem c_{scramb} (reálné rozprostření).



Obr. 5.4 : Rozprostírání a modulace pro downlink DPDCH/DPCCH

5.3 Vícenásobný Rayleighův únik

Rayleighův únik (*Rayleigh fading*) je dán odrazem od překážky mezi základnovou stanicí a mobilní stanicí. To má za důsledek vzniku vícenásobného šíření signálu. Tyto vícečetné signály mohou vést ke snižování úrovně přijatého signálu. Zjednodušený příklad, kde signál prochází dvěma různými cestami k mobilní stanici je ukázán na obr.5.5.



Obr.5.5:Příklad vzniku Rayleighova úniku

Podle obrázku je nejprve přijatý přímý signál ze základnové stanice. Druhý signál odražený od budovy přichází později. Toto způsobuje fázový rozdíl mezi odraženým signálem a přímým signálem. Interference nastává kdy dva signály jsou fázově posunuty o 180 stupňů. Ve skutečném mobilním prostředí, kde je mnoho signálů s fázovými posuny, bude v jistých lokalitách přijatý signál úplně potlačen. Tyto poklesy v intenzitě signálu jsou označovány jako Rayleighovo slábnutí (úniky). Například při pohybu konstantní rychlosti kolem 80 km/h, mobil účastníka bude čelit četným Rayleighovým únikům po dobu několika milisekund.

Existují dva hlavní faktory k určení počtu, doby, a umístění Rayleighova úniku :

- frekvence přenášeného signálu
- rychlost mobilu uživatele

6. Návrh WCDMA s využitím Simulinku

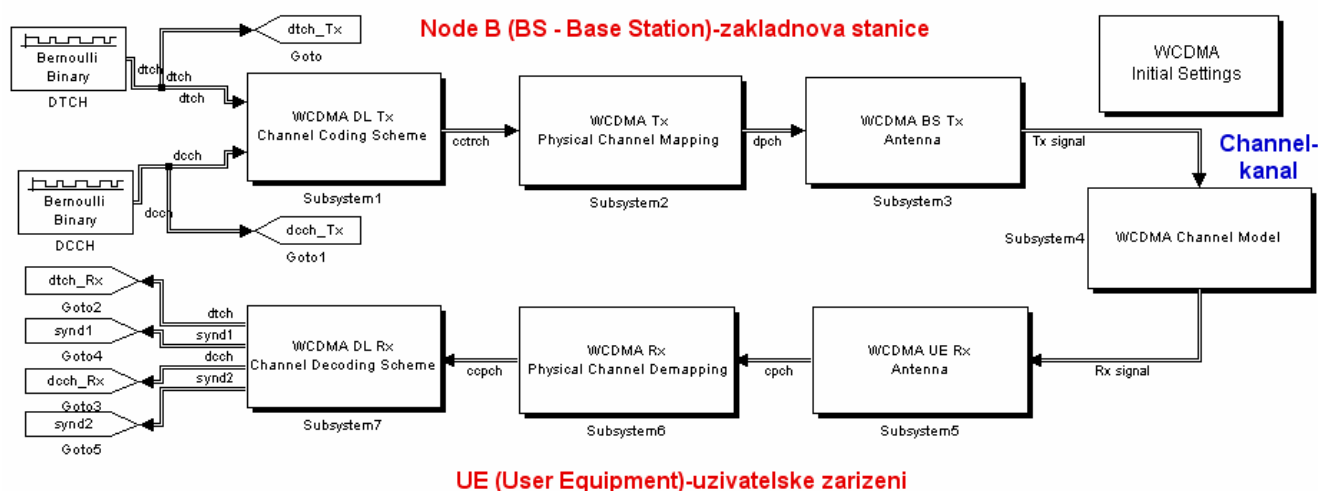
Jedná se o vlastní simulaci fyzické vrstvy , která má na starosti přenos datových signálů vygenerovaných ve vyšších vrstvách. Jak již bylo uvedeno, data jsou přenášena mezi vyššími vrstvami a fyzickou vrstvou ve formě dopravních kanálů a v rámci fyzické vrstvy je možné zpracování až osmi transportních kanálů, které mají odlišné formáty.

Simulace modelu fyzické vrstvy je realizována pro duplexní metodu **FDD**, která využívá širokopásmovou metodu **W-CDMA** s rozprostíráním přímou posloupností **DS-SS-SS-SS**. Jelikož se tedy jedná o duplexní metodu bude simulace provedena pro sestupný kanál (*downlink*), tedy mezi základnovou stanicí Node B a uživatelem UE. Tento model simuluje přenos informací (dat) během spojení a je uskutečněno pomocí programu Matlab-Simulink. Skládá se ze sedmi hlavních podsystémů v tomto modelu podle tabulky (viz.tab.2) :

Subsystem	Funkce
WCDMA DL Tx Channel Coding Scheme	Kanálové kódování a multiplexování transp. kanálů
WCDMA Tx Physical Channel Mapping	Mapování transp. kanálů do fyzických kanálů
WCDMA BS Tx Antenna	Modulace a rozprostírání
WCDMA Channel Model	Kanálový model
WCDMA UE Rx Antenna	Derozprostírání a demodulace
WCDMA Rx Physical Channel Demapping	Zpětné mapování fyzických kanálů do transportních
WCDMA DL Rx Channel Decoding Scheme	Demultiplexování a dekódování transp. kanálů

Tab.2.Systémy modelu fyzické vrstvy

Dalšími funkcemi které jsou aplikovány v této modulaci jsou výkonové řízení, detekce chyby. Vychází se z formátu zpracování datového signálu, který byl uveden výše (viz.kap. 5.2). Kompletní model je znázorněn na obr.6.1.



Obr.6.1 Navržený modely fyzické vrstvy

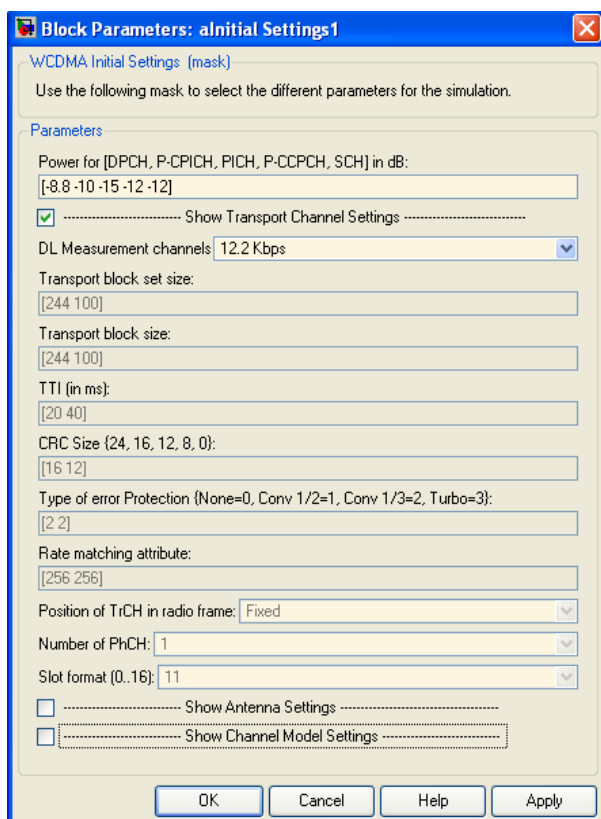
6.1 Nastavení fyzického modelu

Parametry lze prohlížet či nastavovat v každém ze subsystémů tohoto modelu. Výhodnější je však využití inicializačního prostředí pro tento model WCDMA FDD (viz obr.6.2). Poskytuje tyto možnosti nastavení:

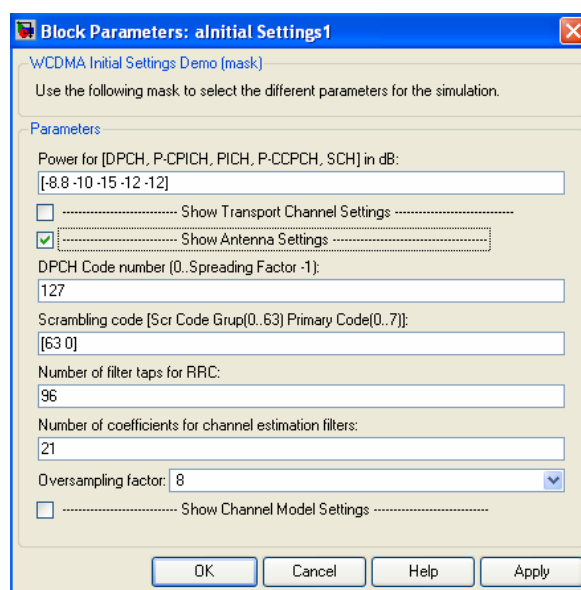
- **Výkon(Power) pro kanály** [DPCH, P- CPICH, PICH, PCCPCH, SCH] v dB - jedná se o parametr jenž se skládá z řádkového vektoru obsahujícího výkony v dB, korespondujících pro různé fyzické kanály.
- **Nastavení transportního kanálu** (*Transport Channel Settings*) – tento řídicí box umožňuje specifikovat parametry pro WCDMA Tx Channel Coding, WCDMA Tx PhCh Mapping

a jejich odpovídající podsystémy na straně přijímače.

- **Nastavení antény** (*Antenna Settings*) - umožní specifikovat parametry korespondující k podsystémům WCDMA BS Tx Antenna a WCDMA UE Rx Antenna.
- **Nastavení kanálového modelu** (*Channel Model Settings*) - umožňuje specifikovat parametry patřící k WCDMA Channel Modelu.



a)



b)

Obr.6.2: Inicializační prostředí pro nastavení parametrů: a) transportního kanálu b) antény

Pokud je vybráno některé z těchto nastavení, dialogové okno zobrazí patřičné parametry, jejichž význam je uveden v příloze (viz.příloha).

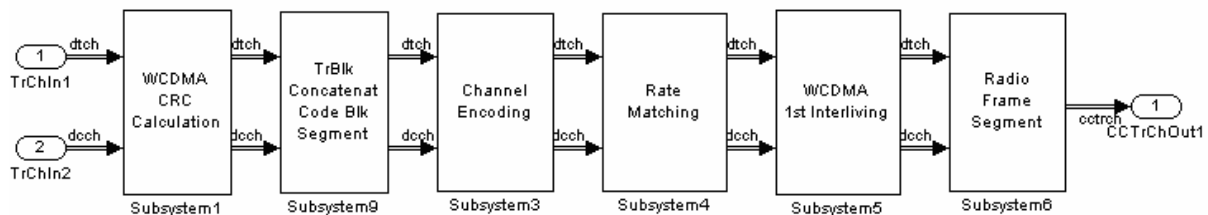
6.2 Subsystémy fyzického kanálu

6.2.1 Podsytem Tx-kanálového kódování (*WCDMA DL Tx Channel Coding Scheme*)

Obsluhuje každý dopravní kanál nezávisle podle dopravního formátu. Realizuje následující funkce (viz.obr. 6.3):

- Výpočet a připojení kontroly CRC (0, 8, 12, 16, 24 bitů)

- Sériové seřazení (zřetězení), segmentace
- Kanálové kódování (bez kódu, kanálové, turbo kódování)
- První prokládání
- Segmentace do radiových rámců
- Přizpůsobení bitové rychlosti
- Multiplexování (bitů z různých transportních kanálů každých 10 ms)



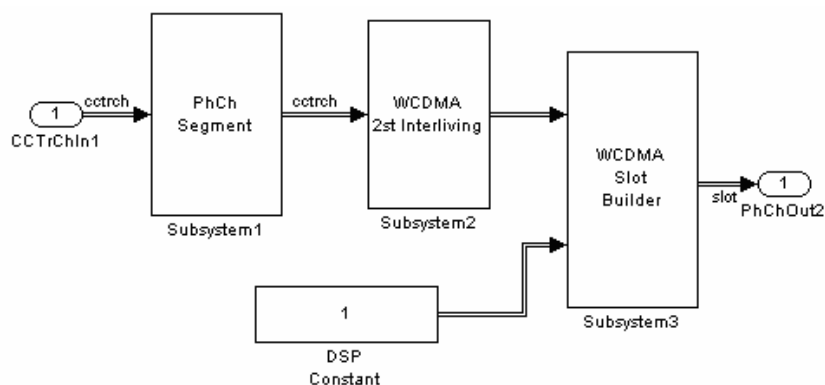
Obr.6.3: Systém WCDMA Tx kanálového kódování

Kódované transportní kanály jsou multiplexovány do jednoho kódovaného kompozitního transportního kanálu CCTrCH. Tento kanál CCTrCH je pak předán do WCDMA Tx Physical Channel Mapping .

6.2.2 Podsystem Tx-mapování (WCDMA Tx Physical Channel Mapping)

Tento podsystem obsahuje bloky (viz.obr.6.4), které realizují následující funkce:

- Segmentace (jeden CCTrCH může být mapován do jednoho nebo několika PhCHs)
- Druhé prokládání (proloží bity uvnitř radiového rámce přicházejících z různých transportních kanálů)
- Slot builder (TFCI obsahuje informaci jaký transportní kanál má být zpracovaný)



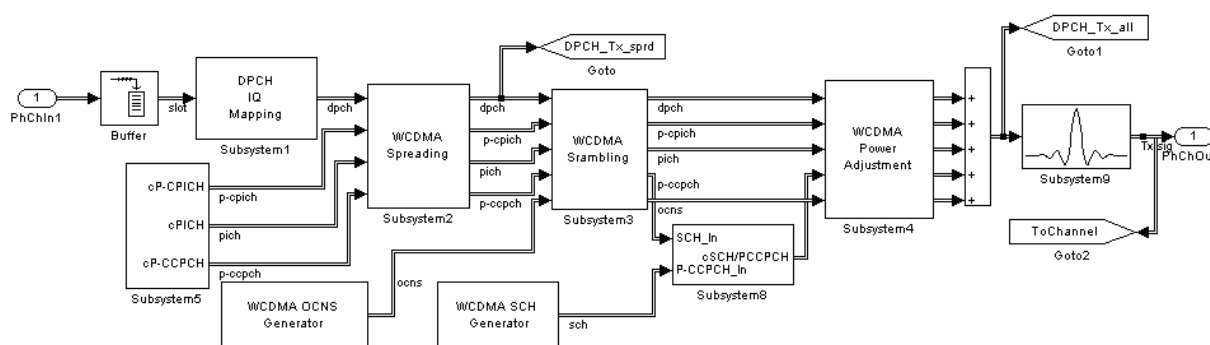
Obr.6.4: Systém WCDMA Tx-mapování

Výstup tohoto podsystému představuje vyhrazený fyzický kanál (DPCH), který je připojen k podsystému WCDMA BS Tx Antenna, Spreading and Modulation .

6.2.3 Podsystém Tx antény (WCDMA BS Tx Antenna)

Vykonává následující funkce, podle bloků uvedených na obr.6.5 :

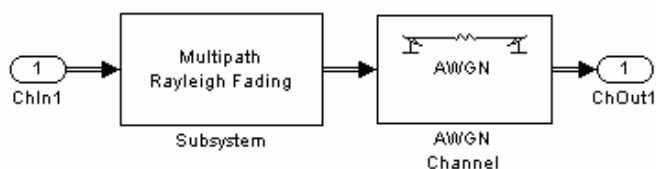
- Modulaci (*QPSK*)
- Rozprostírání ortogonální OVFS kódem (chipová rychlost 3,84 Mchips)
- Skramblování (Gold kódem)
- Výkonové zatížení
- Tvarování impulsu (šířka pásma 5MHz, $\beta = 0,22$)



Obr.6.5: Systém WCDMA Tx základnové stanice BS

6.2.4 Podsystém modelu kanálu (WCDMA Channel Model)

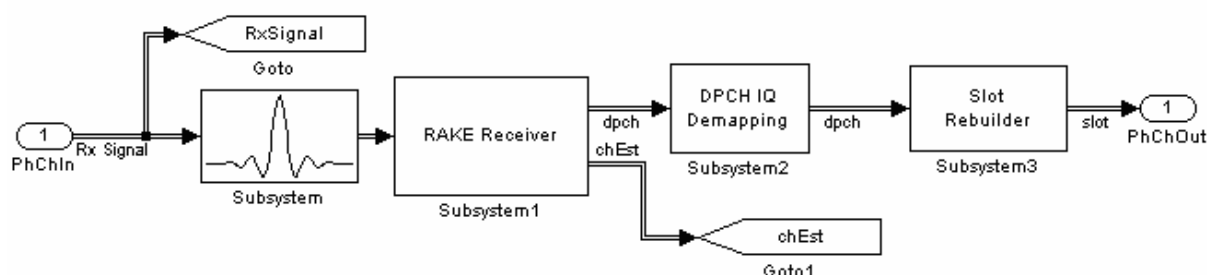
Jedná se o simulaci bezdrátového spojového kanálu s působením Gaussova bílého šumu (AWGN) a Rayleighova úniku (viz. obr. 6.6), který je způsoben odrazem signálu od překážek mající krátkou vzdálenost od přijímací antény. Rayleighovy úniky patří do skupiny rychlých úniků, které mají vliv na útlum signálu během přenosu. Tyto rychlé úniky jsou také způsobeny vícecestným šířením. Z těchto důvodů je aplikován v přijímací anténě RAKE přijímač (RAKE receiver).



Obr.6.6: Systém přenosového kanálu

6.2.5 Podsystem Rx antény (WCDMA UE Rx Antenna)

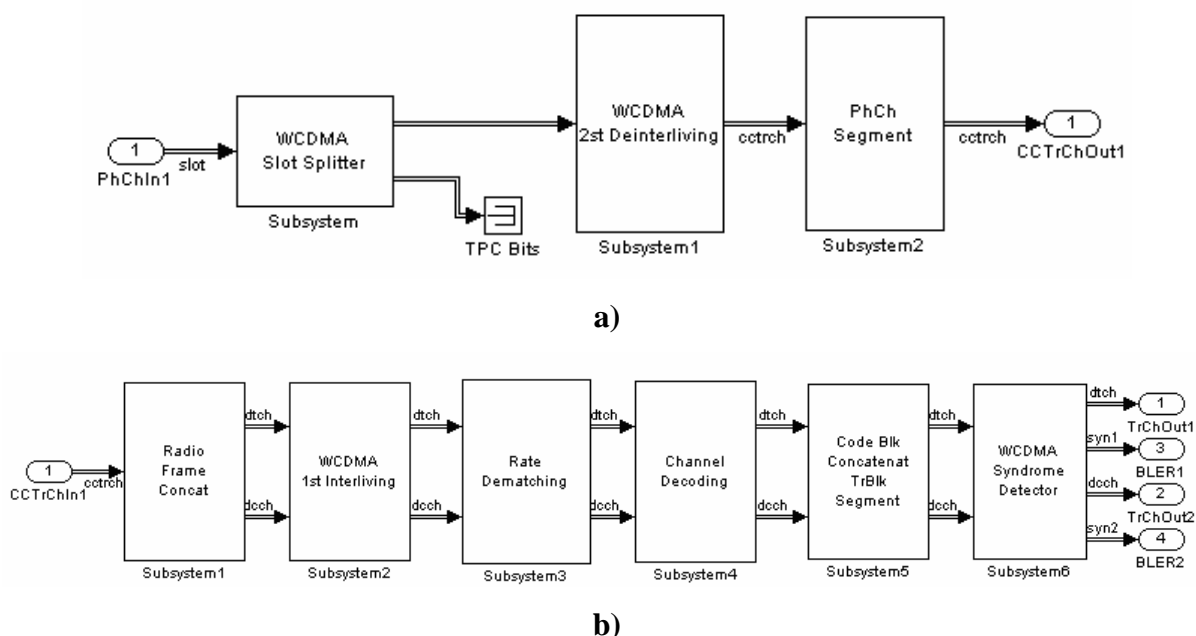
Přijatý signál v tomto podsystemu je součet potlačených (vliv útlumu) a zpožděných verzí původních signálů kvůli vícecestnému šíření signálů. Na straně přijímače je tedy RAKE přijímač skládající se z několika větví (*fingers*), které jsou přidruženy k různě přijatým signálům. Zapojení tohoto podsystemu je podle obr.6.7.



Obr.6.7: Systém WCDMA Rx uživatele UE

6.2.6 Podsystem Rx-demapování a dekódování (WCDMA Rx Physical Channel Demapping and DL Rx Channel Decoding)

Tyto podsystemy vykonávají obrácené funkce k již výše zmíněným systémům na přijímací straně (viz. obr.6.8).



Obr.6.8: Systém WCDMA Rx : a) zpětného mapování , b) dekódování

7. Výsledky simulace

Tato kapitola popisuje výsledky získané simulací navrženého modelu v předešlé kapitole. Chyby počítané v navrženém modelu jsou tyto:

- **BLER** (bloková chybovost) -ukazuje blokovou chybovost kombinovaných kanálů.
- **BER** (bitová chybovost) -ukazuje výsledky bitové chybovosti počítané pro každý kanál zvlášť.

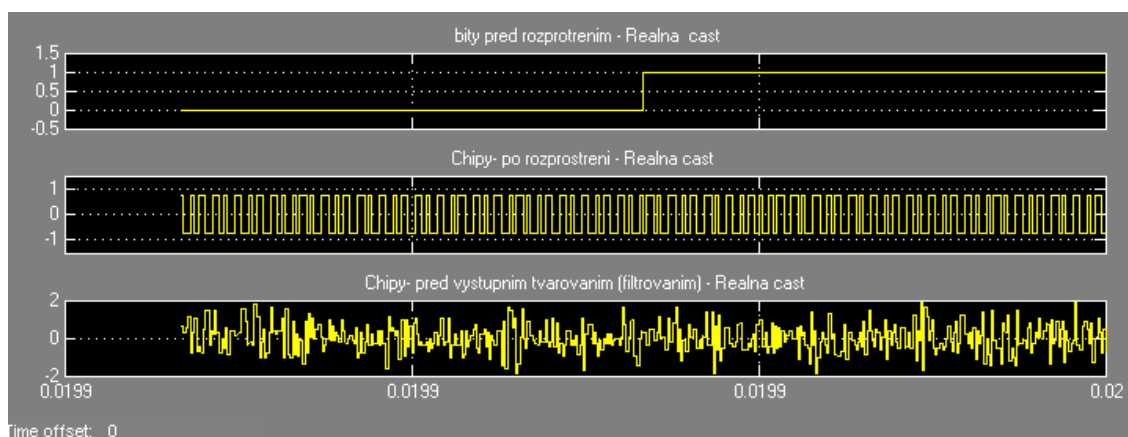
Dále byla využita řada displejů zachycujících signály v různých místech zpracování:

- **Time Scopes** ukazují v tomto případě bitový tok před rozprostřením, po rozprostření a po kombinování různých fyzických kanálů. Ukazují reálnou a imaginární část odděleně. Také zobrazují reálnou a imaginární část výstupu kanálu pro první vrstvu (*fingers*).
- **Channel Estimates** je kanálový odhad , jenž je užíván jako postup, jak změřit frekvenční přenosovou funkci kanálu a spektrální rozložení šumu
- **Power spektrum** ukazuje výkonové spektrum signálu před rozprostřením, po rozprostření, po tvarování impulsu a na vstupu antény přijímače.

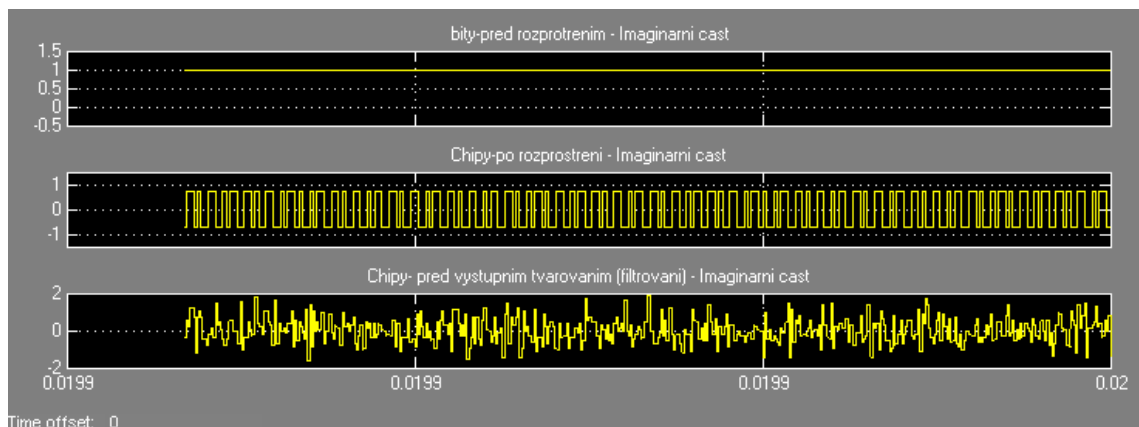
7.1 Časové průběhy signálu

Zachycené průběhy zobrazují signály před rozprostřením, po rozprostření a po kombinování různých fyzických kanálů (viz.obr.7.1a,b). Tyto průběhy jsou v reálné a imaginární části, protože příslušný kanál je do nich mapován a následně rozprostírán OVFSF kódy.

Zachycení odhadu kanálové symbolu je výsledek procesu *Integration and Dump* v RAKE přijímači (viz.obr.7.2). Tento proces zajistí, že signál v RAKE přijímači je integrován přes jednu symbolovou periodu tak, že výstupem je jeden kanálový symbol. Takto obdržené odhady kanálového symbolu z jednotlivých větví (*fingers*)jsou dále vhodně skombinovány do jediného, podle kterého se rozhoduje o přenášených bitech.

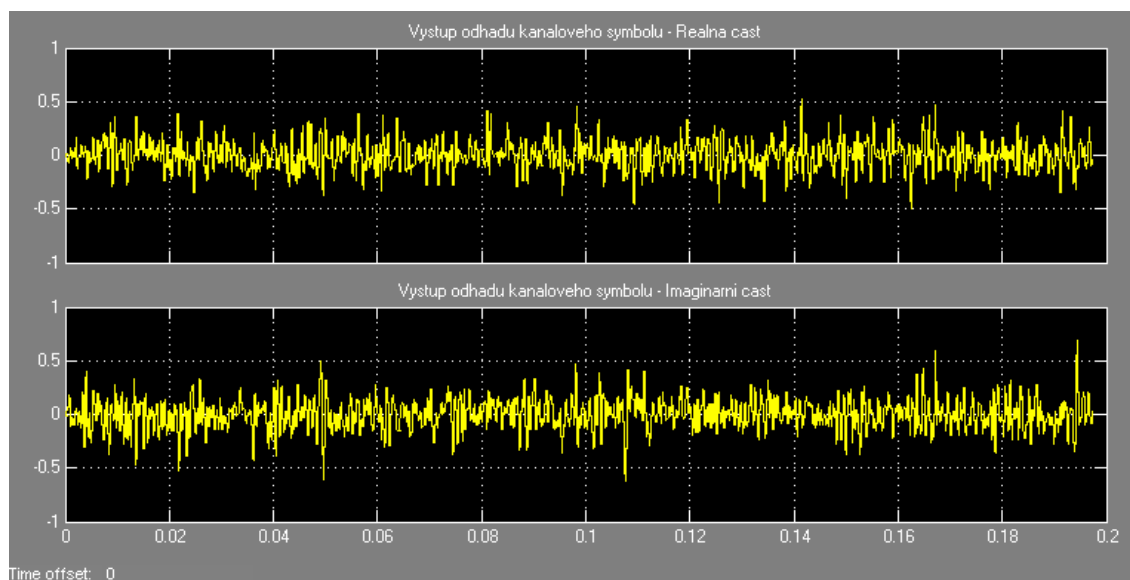


a)



b)

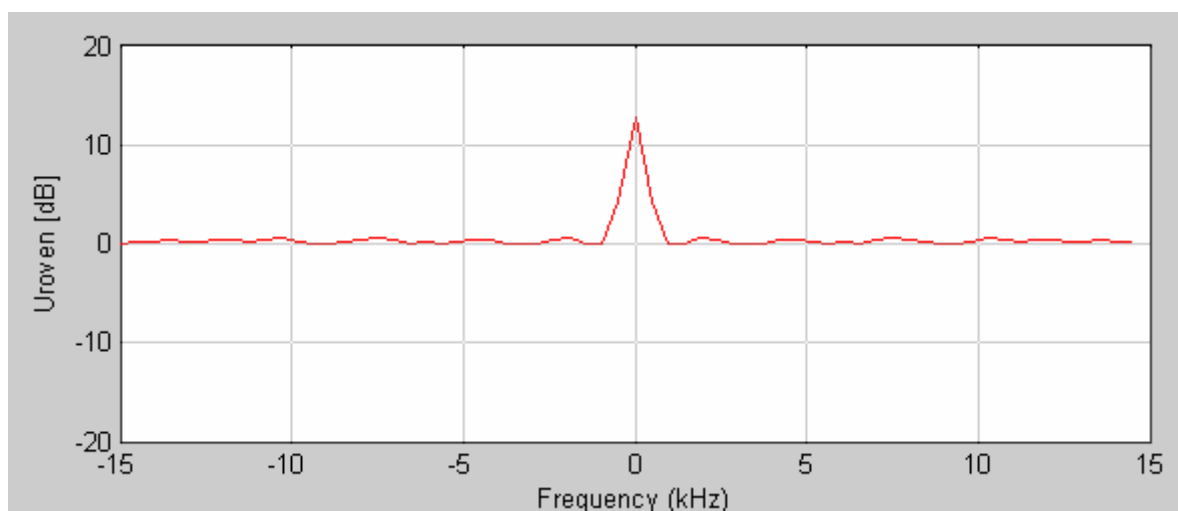
Obr.7.1: Průběh signálu kanálu během celého procesu rozptření :a) reálná část, b) imaginární část



Obr.7.2: Průběh signálu při odhadu kanálového symbolu

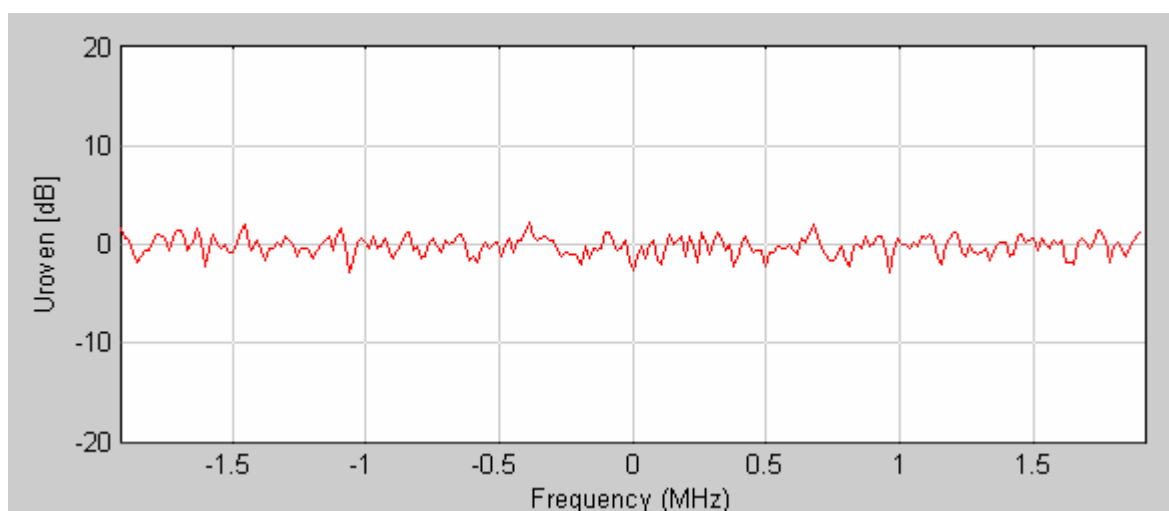
7.2 Spektra signálu

V této části můžeme sledovat spektrum signálu při jeho průchodu bloky v modelu (*down-link*). Obr.7.3 ukazuje spektrum řídicího signálu před rozptřením.



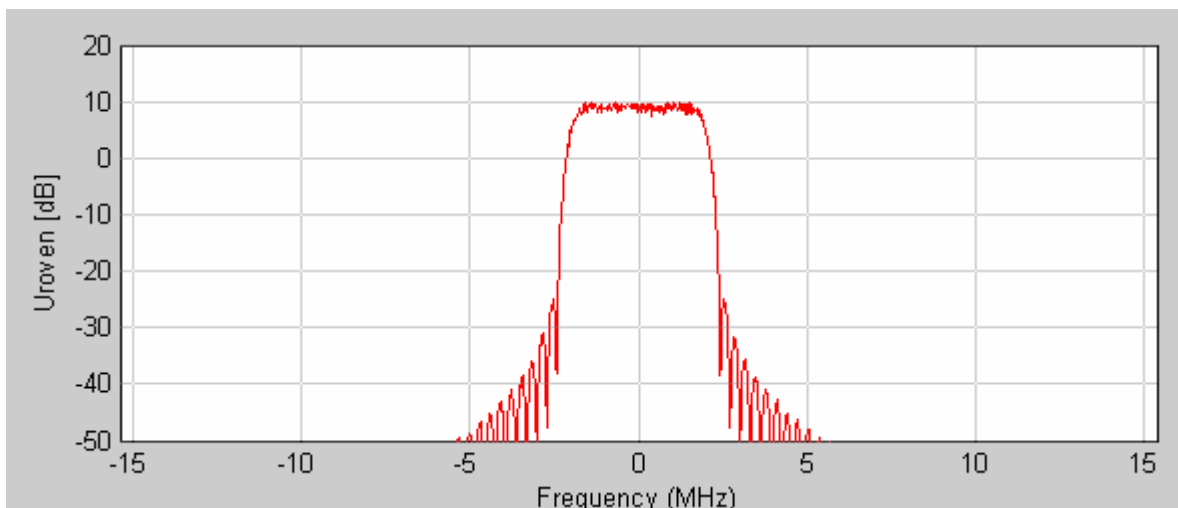
Obr.7.3: Spektrum signálu před rozprostřením

Spektrum řídicího signálu po komplexním rozprostření je zachycen na obr.7.4, kde rozprostřený signál zaujímá větší šířku pásma.



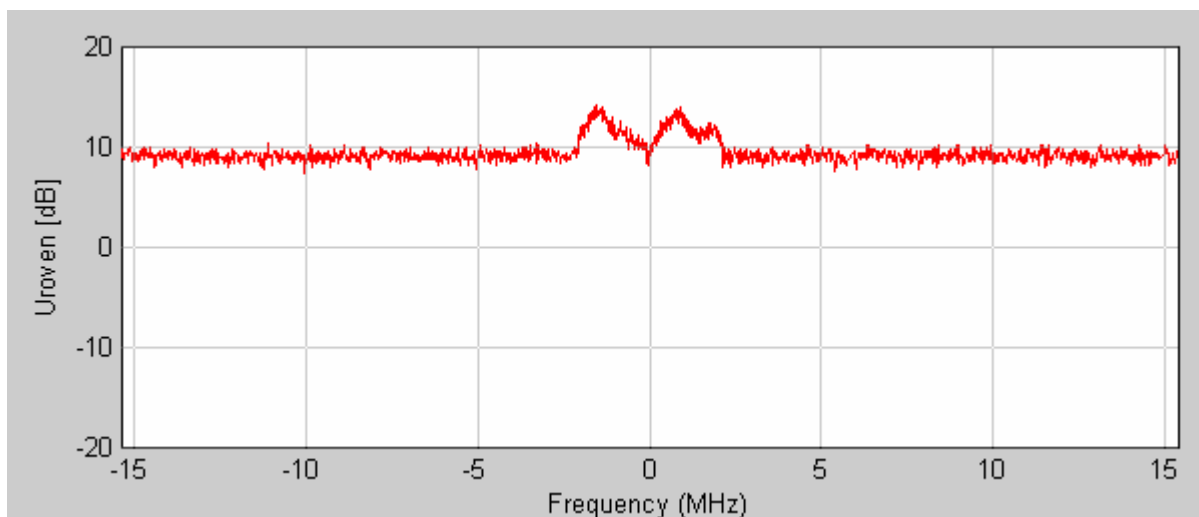
Obr.7.4: Spektrum signálu po rozprostření

Obr.7.5 ukazuje spektrum signálu potom co to byl filtrován (tvarován) výstupním filtrem. Jde o spektrum signálu na výstupu vysílače, který je přenášen.

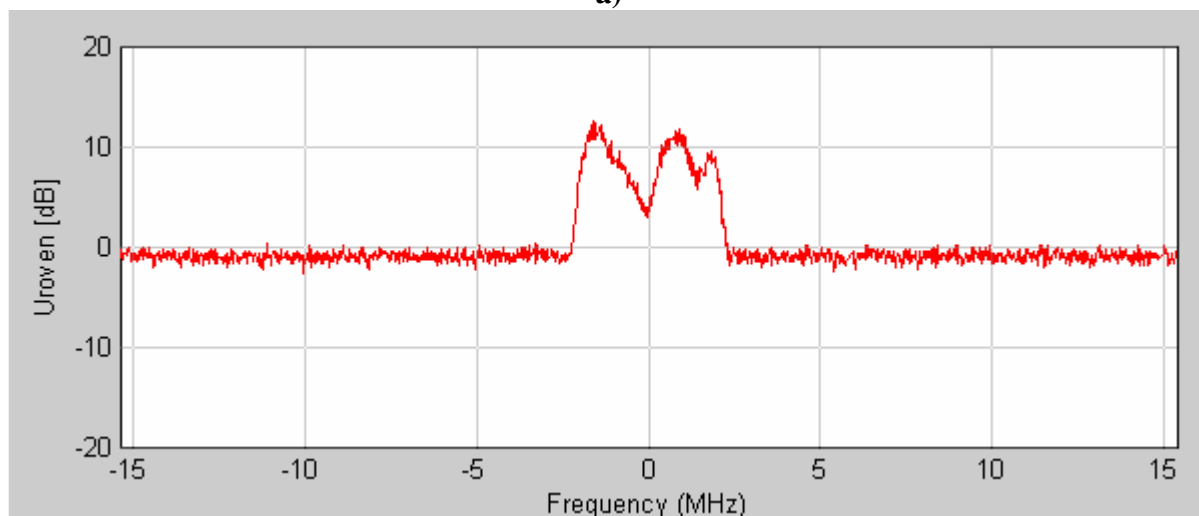


Obr.7.5: Spektrum signálu po rozprostření(Tx signál)

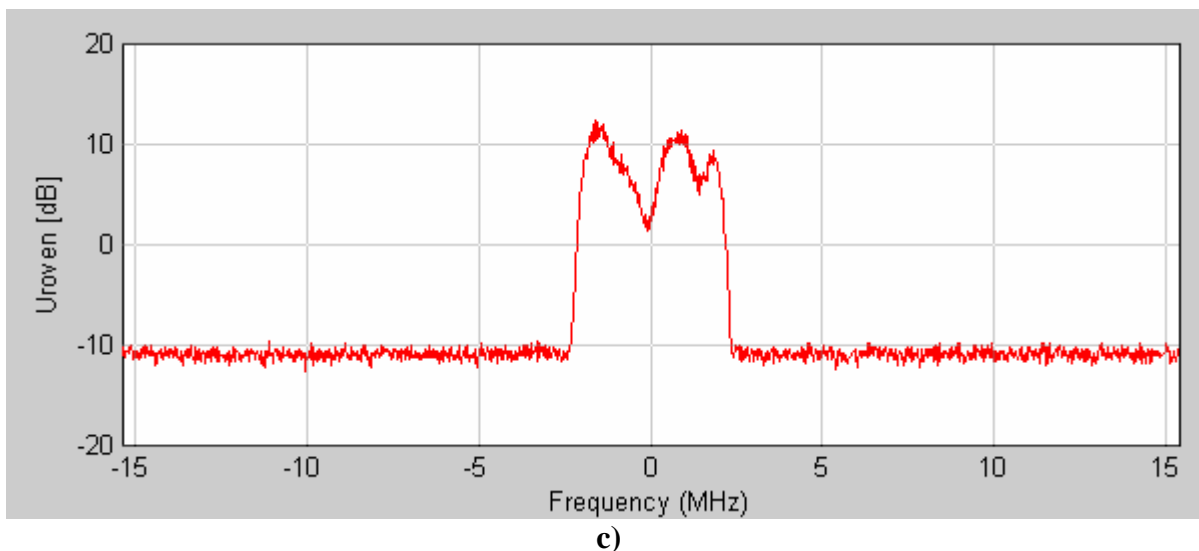
Obr.7.6 zachycuje spektrum signálu poté, co prošel přes přenosový kanál s působením Rayleighova úniku a aditivního bílého šumu AWGN. Jedná se však situaci, kdy dochází ke změně E_b/N_0 , při konstantní přenosové rychlosti mobilní uživatelské stanice 50 km/h.



a)

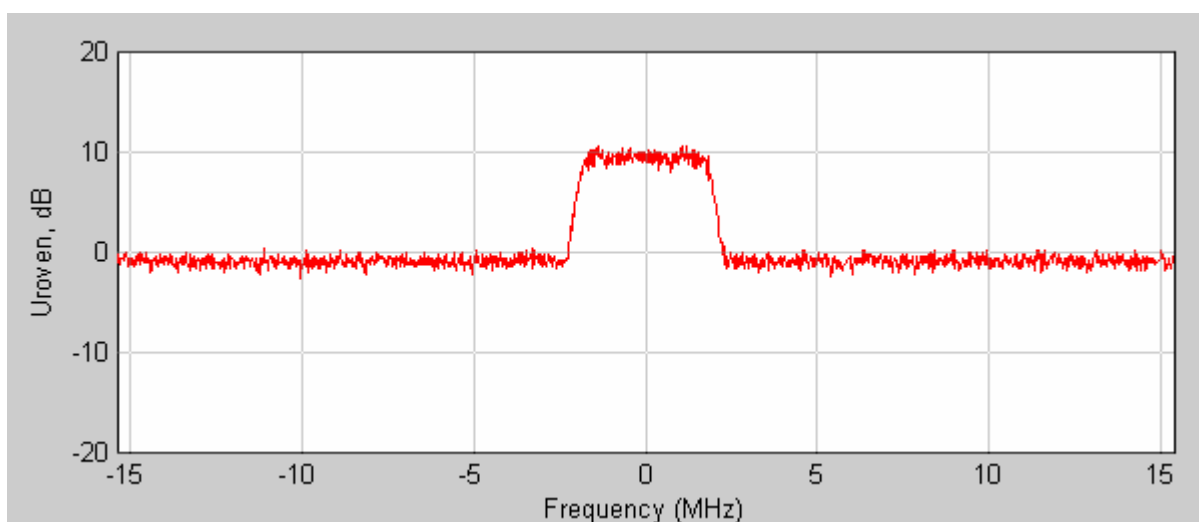


b)

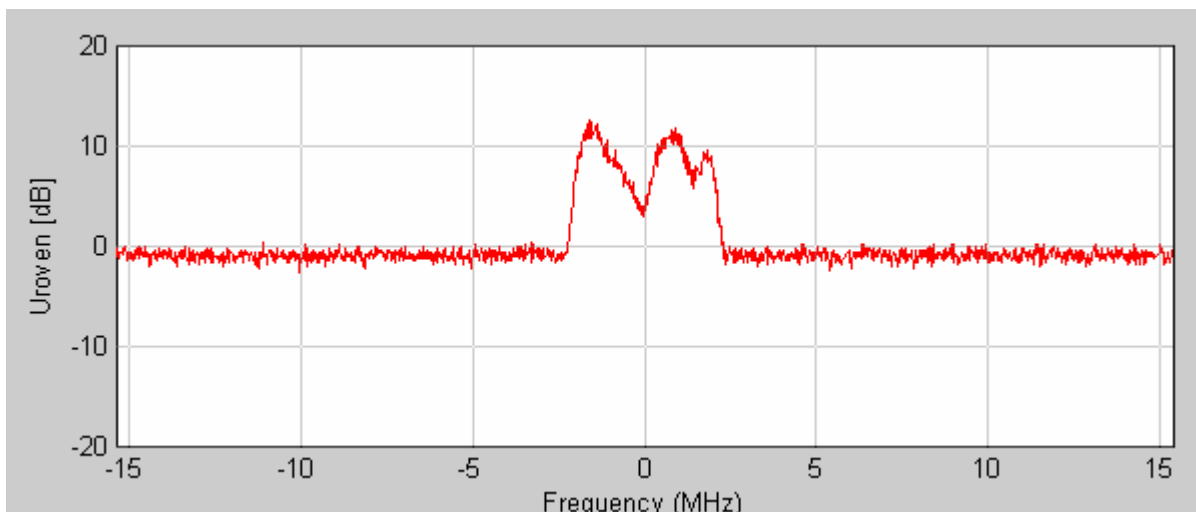


Obr.7.6: Spektrum signálu po přenosu (Rx signál) pro E_b/N_0 : a) 0 dB b) 10 dB c) 20 dB

V případě kdy na přenosový kanál nepůsobí Rayleighův únik, je ze zachyceného spektra zřejmé, že nedochází k poklesu úrovně přenášeného signálu (viz obr.7.7, 7.8). Na kanál působí pouze aditivní bílý AWGN šum. Tento stav je zachycen při $E_b/N_0 = 10$ dB.



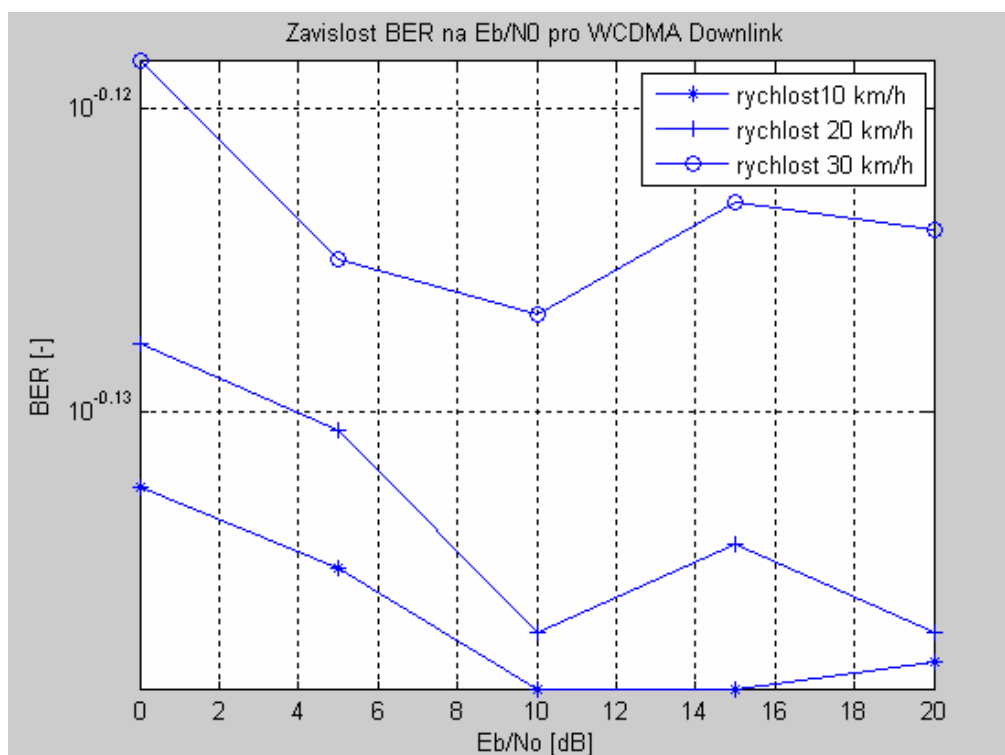
Obr.7.7: Spektrum signálu po přenosu kanálu bez působení Rayleighova úniku



Obr.7.8: Spektrum signálu po přenosu kanálu s Rayleighovým únikem

7.3 Bitová chybovost BER

Chyby BER (*Bit Error Rate*) počítané v navrženém modelu jsou závislé na rychlosti uživatelské stanice, kdy dochází k poklesu úrovně signálu a to má za následek zvýšení počtu chyb. Uplatňuje se zde již zmíněný Rayleighův únik. Příklad závislosti BER na odstupu signálu od šumu je pro tři různé rychlosti UE (viz.obr.7.9) .



Obr.7.9: Závislost chybovost přenosu BER pro odlišné rychlosti

5.Závěr

V této práci, jenž byla zaměřená na metody mnohonásobného přístupu u mobilní sítí s následnou realizací jedné z nich, byly nejprve stanoveny základní charakteristiky těchto metod. Jelikož vývoj technologií mobilní komunikace je značně rychlý, konkrétně v oblastech sítí GSM a UMTS, bylo nejprve nutné si uvědomit, za jakým účelem byly vytvořeny. Z obecně známých informací je zřejmé, že GSM poskytuje zejména hlasové služby (nyní již i GPRS, WAP,...), kdežto UMTS multimediální komunikaci.

U sítí druhé generace (GSM) jsou metody FDMA využívány pro přenos konstantního nebo pomalu alokovaného objemu dat, kdežto TDMA je pro dynamickou alokaci objemu přenášených dat. Především je však zde metoda CDMA, jenž využívá systém rozprostření signálu do širokopásmové podoby (přímé rozprostření). Součástí práce je teoretické zhodnocení vlivu široko či úzko pásmového rušení, které má zásadní vliv na zpracování užitečného signálu.

V rámci systému třetí generace se UMTS vyznačuje proměnnou bitovou rychlostí, která u diverzitního vysílání zajišťuje asymetrický provoz pro *uplink* a *downlink*, přičemž frekvenční šířka pásma 5 MHz umožňuje dosažení vyšší bitové rychlosti. Pozornost byla věnována kódům systému UMTS pro oddělení datových či řídicích kanálů nebo buněk. Každý z nich je příslušný metodám (*FDD*, *TDD*) širokopásmové technologie přístupu WCDMA. Podmínka ortogonality těchto kódů (např. rozprostírání) je dána nulovým vzájemným posuvem v čase.

Podstatnou částí je vlastní návrh a simulace systému W-CDMA. Nejprve však bylo nutné stanovit hlavní funkce fyzické vrstvy (kódování, multiplexování, atd.). Navržená simulace je pro směr přenosu dat od základnové stanice Node B k uživateli UE. Zachycená spektra tohoto signálu nám dávají podrobný přehled o procesech působících na tento přenos. Jde zejména o působení Rayleighova úniku, který je dán doplerovým efektem a má za následek vznik vícecestného šíření. Z těchto a některých dalších důvodů se používají RAKE přijímače, kombinující signály přicházející z více cest, za účelem zvýšení poměru signál-šum. Ze získaných výsledků je zřejmé, že Rayleighův únik závisí na rychlosti uživatelské stanice a dále pak na kmitočtu přenášeného signálu. RAKE přijímač má tedy na starosti získání odhadu kanálového symbolu z jednotlivých větví, z kterých je složen. Jelikož tyto metody mnohonásobného přístupu využívají systém DS-SS, je signál doprovázen šumem a interferencemi, především interferencemi mnohonásobného přístupu MAI (*Multiple Access Interference*), kdy dochází k vzájemnému ovlivňování signálů na rádiovém rozhraní. V této souvislosti, přijímače RAKE založené na technice přizpůsobené filtrace, nedokáží potlačit tyto celulární interference. Řešení spočívá ve využití přijímače G-RAKE. Závěrem je stanovena závislost chybovosti přenosu na proměnné

rychlosti uživatelské stanice UE. Tato přenosová rychlost uživatelské stanice má vliv na celkovou přenosovou rychlost tohoto navrhovaného systému W-CDMA. Společně s kvalitou přenosového prostředí, na nějž působí uvedený šum a úniky, vytvářejí charakteristické vlastnosti všech těchto systémů pro přenos dat.

Seznam literatury :

- [1] NAWROCKI, M., DOHLER, M., AGHUAMI, A., H. *Understanding UMTS Radio Network*, John Wiley & Sons, Ltd. England 2006.
- [2] HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. Skripta. FEKT VUT, Brno 2002.
- [3] HANUS, S. *Bezdrátové a mobilní komunikace //*. Skripta. FEKT VUT, Brno 2002.
- [4] RADHA, P., AKANSU, A. *New Orthogonal Binary User Codes For Multiuser Spread Spectrum Communications*, 2001. Dokument ve formátu pdf. Dostupné na <http://www.ee.bilkent.edu.tr/~signal/defevent/papers/cr2045.pdf>
- [5] CAVALLARO, J. *A Software Simulation Testbed for CDMA Wireless Communication Systeme*. Dokument ve formátu pdf. Dostupné na http://www.ece.rice.edu/~cavallar/theses/vishwas_ms.pdf
- [6] FAKHRUL, A. *Simulation of Third Generation CDMA Systeme*. Dokument ve formátu pdf. Dostupné na http://www.ece.rice.edu/~cavallar/theses/vishwas_ms.pdf
- [7] HOLMA, H., TOSKALA, A. *WCDMA for UMTS*. Dokument ve formátu pdf. Dostupné na <http://cwc01.uwaterloo.ca/~lcong/ge/Family/ebook/John.Wiley.and.Sons.WCDMA.for.UMTS.Radio.Access.for.Third.Generation.Mobilemunications.Sep.2004.eBook-DDU.pdf>
- [8] *Simulace W-CDMA v Matlabu*. Dokument ve formátu html. Dostupné na <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03047/index.html#generace>
- [9] *Technologie pro mobilní komunikaci*. Dokument ve formátu html. Dostupné na <http://tomas.richtr.cz/mobil/umts.htm>
- [10] *WCDMA End-to-End Physical Layer*. Dokument ve formátu html. Dostupné na <http://www.weizmann.ac.il/matlab/toolbox/commblk/usersguide/morede12.html>

Seznam obrázků :	str.
Obr.2.1: Mnohonásobný přístup FDMA	15
Obr.2.2: Mnohonásobný přístup TDMA	16
Obr.2.3: Struktura rámce TDMA.....	17
Obr.2.4: Mnohonásobný přístup CDMA	18
Obr.2.5: Generátor pseudonáhodného signálu	19
Obr.2.6: Blokové schéma multiplexeru CDM s přímým rozprostřením	20
Obr.2.7: Schéma komunikačního systému s přímým rozprostřeným spektrem DS-SS	21
Obr.2.8: Přímé rozprostření signálu v časové oblasti	22
Obr.2.9: Systém s přímou modulací	23
Obr.2.10: Schéma komunikačního systému s přímým rozprostřeným spektrem DS-SS	24
Obr.2.11: Vysvětlení principu potlačení poruch u systému s přímou modulací	25
Obr.2.12: Závislost kapacity kanálu a poměru signál/šum na šířce pásma.....	27
Obr.2.13: Průběhy pomalého skákání a rychlého skákání	28
Obr.2.14: Průběh metody TD-CDMA	28
Obr.3.1: Frekvenční pásma přidělená jednotlivým systémům (GSM,UMTS).....	31
Obr.3.2: Struktura systému UMTS	31
Obr.3.3: Rozložení spektra UMTS pro Evropu	33
Obr.3.4: Multiplexní přenos techniky DS-CDMA.....	33
Obr.3.5: Struktura rámce FDD	35
Obr.3.6: Multiplexní přenos techniky TD-CDMA	36
Obr.3.7: Příklad rozdělení timeslotů pro jednotlivé směry	37
Obr.3.8: Využití rozprostírajících kódů	37
Obr.3.9: Struktura rámce TDD	38
Obr.3.10: Příklad generátoru Goldova kódu	40
Obr.3.11: Reprezentace Walshovy funkce	40
Obr.3.12: Stromová struktura OVSF kódů	41
Obr.4.1: Logické kanály systému UMTS	44
Obr.4.2: Transportní kanály systému UMTS	45
Obr.5.1 : Funkce fyzické vrstvy.....	48
Obr. 5.2: Mapování transportních kanálů do fyzických kanálů.....	50
Obr. 5.3 : Rozprostírání a modulace pro uplink DPDCH/DPCCH.....	51
Obr. 5.4 : Rozprostírání a modulace pro downlink DPDCH/DPCCH.....	51

Obr.5.5:Příklad vzniku Rayleighova úniku.....	52
Obr.6.1 Navržený modely fyzické vrstvy.....	53
Obr.6.2: Inicializační prostředí pro nastavení parametrů: a) transportního kanálu b) antény...	54
Obr.6.3: Systém WCDMA Tx kanálového kódování.....	55
Obr.6.4: Systém WCDMA Tx-mapování.....	55
Obr.6.5: Systém WCDMA Tx základnové stanice BS.....	56
Obr.6.6: Systém přenosového kanálu.....	56
Obr.6.7: Systém WCDMA Rx uživatele UE.....	57
Obr.6.8: Systém WCDMA Rx : a) zpětného mapování , b)dekódování	57
Obr.7.1: Průběh signálu kanálu během celého procesu rozprostření :a) reálná část, b) imaginární část	59
Obr.7.2: Průběh signálu při odhadu kanálového symbolu.....	59
Obr.7.3: Spektrum signálu před rozprostřením.....	60
Obr.7.4: Spektrum signálu po rozprostření.....	60
Obr.7.5: Spektrum signálu po rozprostření(Tx signál).....	61
Obr.7.6: Spektrum signálu po přenosu (Rx signál) pro Eb/No: a) 0 dB b)10 dB c) 20 dB.....	62
Obr.7.7: Spektrum signálu po přenosu kanálu bez působení Rayleighova úniku.....	62
Obr.7.8: Spektrum signálu po přenosu kanálu s Rayleighovým únikem.....	63
Obr.7.9: Závislost chybovost přenosu BER pro odlišné rychlosti.....	63

Seznam tabulek :	str.
Tab.1:Kanálové kódování různých transportních kanálů.....	49
Tab.2.Systémy modelu fyzické vrstvy	53

Seznam příloh:

Příloha 1: Nastavení transportního kanálu (*Transport Channel Settings*)

Příloha 2: Nastavení antény (*Antenna Settings*)

Příloha 3: Nastavení kanálového modelu (*Channel Model Settings*)

Příloha 1

Parameter	Popis
DL Measurement channels	Rychlost(velikost) kanálů v downlinku (DL). Jsou zde čtyři kanaly jejichž nastavení je specifikováno standardně na: 12.2 Kbps 64 Kbps 144 Kbps 384 Kbps Pokud chceme nastavit jinou rychlost vybereme položku User Defined
Transport block set size	Řádkový vektor představující nastavení velikosti transportních bloků, definované standardem pro každý transportní kanál
Transport block size	Řádkový vektor představující velikost transportních bloků, definované standardem pro každý transportní kanál
TTI in ms	Řádkový vektor představující dobu přenosu, definovaný standardem pro každý transportní kanál
CRC Size	Řádkový vektor představující velikost CRC na počet bitů přidružený na každý transportní kanál
Type of error Protection	Řádkový vektor představující kódovací schéma pro každý kanál. Možnosti na výběr: Bez kodu 2-Konvoluční kódování 3-Turbo kódování
Rate matching attribute	Řádkový vektor představující atributy pro přizpůsobení bitové rychlosti definované standardně pro každý transportní kanál
Position of TrCH in radio frame	Nastavení pozice transportních kanálů v radiovém rámci (Fixed or Flexible) definované standardy
Number of PhCH	Počet fyzických kanálů (od 1 do 3)
Slot format (0..16)	Nastavuje odpovídající formát slotu(mezer) definovaný standardem

Příloha 2

Parametr	Popis
DPCH Code number	Celé číslo od 0 do hodnoty rozprostíracího faktoru zmenšeného o 1, odpovídající indexu ortogonálního kódu přiděleného DPCH kanálu
Scrambling code	Vektor skladající se ze dvou hodnot korespondujících indexu rozprostíracího kódu přidělené základnové stanici (Base Station).
Number of filter taps for RRC	Počet koeficientů RRC filtru
Number of coefficients for channel estimation filters	Počet koeficientů dolní propusti
Oversampling factor	Celočíselná hodnota odpovídající počtu vzorku za symbol

Příloha 3

Parametr	Popis
Propagation conditions environment	Výběr mezi různou prefabrikovanou propagací podmínek prostředí
Number of enable fingers	Celé číslo od 1 do 4 to nastavující počet vrstev (fingers)
SNR (in dB)	Hodnota odstupů signálu od šumu v dB
Relative delay of Rx signals (s)	Vektor odpovídající zpoždění různých cest
Average Power of Rx signals (dB)	Vektor odpovídající výkonu v dB různých cest
Speed of Terminal (in Km/h)	Hodnota rychlosti pohybu uživatelské stanice UE (User Equipment) v km/h

